



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PIAUÍ**  
**PRÓ-REITORIA DE ENSINO DE PÓS-GRADUAÇÃO**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM DESENVOLVIMENTO E MEIO**  
**AMBIENTE**  
**MESTRADO EM DESENVOLVIMENTO E MEIO AMBIENTE**

PEDRO HENRIQUE SOARES MELO

**REGIME DE FOGO NAS TERRAS INDÍGENAS DO CERRADO MARANHENSE**

TERESINA  
2021

PEDRO HENRIQUE SOARES MELO

## **REGIME DE FOGO NAS TERRAS INDÍGENAS DO CERRADO MARANHENSE**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente (Mestrado) da Universidade Federal do Piauí (PRODEMA/UFPI), como requisito para a obtenção do título de Mestre em Desenvolvimento e Meio Ambiente.

Área de Concentração: Desenvolvimento do Trópico Ecotonal do Nordeste. Linha de Pesquisa: Políticas de Desenvolvimento e Meio Ambiente.

Orientadora: Profa. Dra. Giovana Mira de Espindola  
Coorientadora: Profa. Dra. Roseli Farias Melo de Barros

TERESINA  
2021

FICHA CATALOGRÁFICA  
Universidade Federal do Piauí  
Biblioteca Comunitária Jornalista Carlos Castello Branco  
Serviço de Processamento Técnico

M528r      Melo, Pedro Henrique Soares.  
              Regime de fogo nas terras indígenas do cerrado maranhense /  
              Pedro Henrique Soares Melo – 2021.  
              63 f.

              Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Piauí,  
              Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio  
              Ambiente, Teresina, 2021.  
              “Orientação: Prof<sup>ª</sup>. Dr<sup>ª</sup>. Giovana Mira de Espindola.”

              1. Queimadas – Cerrado Maranhense. 2. Clima. 3. Incêndios. I.  
              Espindola, Giovana Mira de. II. Barros, Roseli Farias Melo de. III.  
              Título.

CDD 632.18

PEDRO HENRIQUE SOARES MELO

**REGIME DE FOGO NAS TERRAS INDÍGENAS DO CERRADO MARANHENSE**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente (Mestrado) da Universidade Federal do Piauí (PRODEMA/UFPI), como requisito para a obtenção do título de Mestre em Desenvolvimento e Meio Ambiente.

Área de Concentração: Desenvolvimento do Trópico Ecotonal do Nordeste. Linha de Pesquisa: Políticas de Desenvolvimento e Meio Ambiente.

Orientadora: Profa. Dra. Giovana Mira de Espindola  
Coorientadora: Profa. Dra. Roseli Farias Melo de Barros

Aprovada em: 31 / 02 / 2021



Profa. Dra. Giovana Mira de Espindola  
(PRODEMA/UFPI/PRPPG/TROPEN)  
Orientadora



Prof. Dr. Reurysson Chagas de Sousa Morais  
Curso de Tecnologia em Geoprocessamento - IFPI  
Examinador Externo



Prof. Dr. Francisco Soares Santos Filho  
(PRODEMA/UFPI/PRPPG/TROPEN)  
Examinador Interno

*Dedico este trabalho aos índios Guajajara e Canela, os mais brasileiros dos brasileiros, que, ironicamente, são tão mal assistidos por nossos governos e ainda lutam contra a ganância por seus territórios tradicionais. São mais de 500 anos sendo perseguidos, ameaçados e mortos, mas os povos tradicionais brasileiros resistiram e continuarão resistindo!*

## **AGRADECIMENTOS**

*Agradeço a Deus e ao Universo pela vida. Aos meus pais (Agenor e Maria), irmã (Rosana) e demais familiares pelo apoio e confiança. À Universidade Federal do Piauí e à Educação Pública de forma geral pela formação que tenho, da alfabetização até esta etapa que assim se encerra. Eu vim da Educação Pública, nela estou e pretendo permanecer. Aos meus colegas de turma pelo companheirismo. Ao Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente pela oportunidade de cursar um mestrado, convivendo e aprendendo com profissionais diversos e incríveis, dos professores aos servidores administrativos e terceirizados. Aos Guajajaras da Terra Indígena Bacurizinho pelo acolhimento e receptividade. Por último, mas não menos importante, às minhas orientadoras (Giovana Mira de Espindola e Roseli Farias Melo de Barros), que sempre apoiaram e socorreram-me nos momentos mais difíceis. Aprendi e continuo aprendendo com elas, tenho-as como referenciais de profissionalismo, sensibilidade e respeito. Um dia quero ser, pelo menos um pouco, do que elas são. Meus mais sinceros agradecimentos!*

*Os agradecimentos que aqui não foram escritos tentarão ser feitos em forma de gestos. Eu não preciso escrever muito, nem citar nomes específicos. Vocês, meus amigos verdadeiros, sabem da minha gratidão e que podem contar comigo. Muito obrigado!*

## RESUMO

O fogo é um dos principais agentes promotores de distúrbio e estresse em diferentes biomas, bem como um modelador da diversidade, distribuição e composição de espécies. O Cerrado tem sido classificado como um Bioma dependente do fogo, tendo uma dinâmica com forte influência do clima e que varia de acordo com a fitofisionomia local. As atuais práticas agropecuárias e os conflitos agrários têm alterado o regime de fogo na região. Neste sentido, nem todos os incêndios possuem algum tipo de benefício ecológico, podendo, inclusive, agravar a degradação ambiental. Historicamente, as Terras Indígenas do Cerrado maranhense têm registrado a ocorrência de incêndios florestais, e o diagnóstico destes eventos é de fundamental importância para se entender as relações entre os regimes de queima nessas áreas e suas consequências. Assim, o objetivo geral desse trabalho foi estudar o regime de fogo nas Terras Indígenas do Cerrado maranhense e entorno no período 2008-2017. Os objetivos específicos foram os seguintes: i) determinar a duração, começo e final das estações chuvosas e secas para cada ano no período; ii) identificar e caracterizar as cicatrizes de área queimada por meio de séries temporais de imagens orbitais de sensoriamento remoto e iii) caracterizar a dinâmica sazonal da ocorrência de incêndios florestais. Para a delimitação das cicatrizes foi utilizada a série temporal das imagens *Landsat* (resolução 30 m) disponíveis no catálogo do *Google Earth Engine*, sendo o Índice de Queimada Normalizada a ferramenta principal de análise. Para definição das estações chuvosas e secas, utilizou-se dados de precipitação provenientes de estações meteorológicas do Instituto Nacional de Meteorologia e da Agência Nacional de Águas. Os resultados mostraram que durante o período estudado a área queimada total nas TIs e entorno foi de 2.599.393 hectares, distribuída em 26.282 cicatrizes. A área queimada anual foi bem diferente nos dez anos estudados, sendo que 70% da área de estudo queimou ao menos uma vez no período. Os anos de 2012 e 2017 foram os que tiveram mais área queimada. Os anos com menor área queimada foram 2008 e 2011. A estação seca média (ESM) concentra 85% do acumulado de área queimada nos anos estudados. A temporada de incêndios começa no mês de junho e termina em novembro. Quase não há ocorrências de área queimada nos meses de dezembro a maio. Agosto, setembro e outubro respondem por 81% da área queimada. As áreas com maior recorrência de queimadas estão localizadas majoritariamente nas bordas das TIs. Os padrões descritos constituem o primeiro passo para o entendimento dos regimes do fogo na região e para estabelecer direções visando melhor estratégias de manejo e orientar políticas públicas.

**Palavras-chave:** Clima. Incêndios. Índice de Queimada Normalizada. Sensoriamento Remoto.

## ABSTRACT

Fire is one of the main agents that promote disturbance and stress in different biomes, as well as a model for the diversity, distribution and composition of species. The Brazilian Cerrado has been classified as a fire-dependent biome, having a dynamic with a strong influence of the climate and which varies according to the local phytophysiology. Current agricultural practices and agrarian conflicts have changed the fire regime in the region. In this sense, not all fires have any type of ecological benefit, and may even aggravate environmental degradation. Historically, the Cerrado indigenous lands of the Brazilian state of Maranhão have recorded the occurrence of forest fires, and the diagnosis of these events is of fundamental importance to understand the relationships between the burning regimes in these areas and their consequences. Thus, the general objective of this work was to study the fire regime in the indigenous lands of the Cerrado of the state of Maranhão and surroundings in the period 2008-2017. The specific objectives were: i) to determine the duration, beginning and end of the rainy and dry seasons for each year in the period; ii) to identify and characterize the scars of the burned area by means of time series of orbital images of remote sensing and iii) to characterize the seasonal dynamics of the occurrence of forest fires. For the delimitation of scars, the time series of Landsat images (resolution 30 m), available in the Google Earth Engine catalog, was used, with the Normalized Burn Index being the main analysis tool. For the definition of rainy and dry seasons, precipitation data from meteorological stations of the National Institute of Meteorology and the National Water Agency of Brazil were used. The results showed that during the studied period the total burned area in the indigenous lands and surroundings was 2,599,393 hectares, distributed in 26,282 scars. The annual burned area was quite different in the ten years studied, with 70% of the study area being burned at least once in the period. The years 2012 and 2017 were the ones that had the most area burned. The years with the lowest burned area were 2008 and 2011. The average dry season (ESM) concentrates 85% of the accumulated area burned in the years studied. The fire season begins in June and ends in November. There are almost no occurrences of burned area in the months of December to May. August, September and October account for 81% of the burned area. The areas with the highest recurrence of fires are located mainly on the edges of the indigenous lands. The described standards are the first step towards understanding the fire regimes in the region and to establish directions aiming at better management strategies and guiding public policies.

**Keywords:** Climate. Fires. Normalized Burn Ratio. Remote Sensing.

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	9
<b>2</b>	<b>REFERENCIAL TEÓRICO</b> .....	11
<b>2.1</b>	<b>Cerrado</b> .....	11
<b>2.2</b>	<b>Vegetação do Cerrado</b> .....	13
<b>2.3</b>	<b>O fogo no Cerrado</b> .....	14
2.3.1	Fogo nas Formações Florestais .....	15
2.3.2	Fogo nas Formações Savana e Campestre .....	16
2.3.3	Adaptação da vegetação ao fogo .....	17
2.3.4	Impacto do fogo na Camada herbácea .....	18
2.3.5	Impacto do fogo na camada lenhosa .....	19
<b>2.4</b>	<b>Ecologia e Uso Tradicional do fogo</b> .....	20
<b>2.5</b>	<b>Sensores e técnicas utilizados no monitoramento de incêndios</b> .....	22
<b>2.6</b>	<b>TIs</b> .....	25
2.6.1	Conceito .....	25
2.6.2	Modalidades .....	25
2.6.3	Regularização Fundiária da TIs .....	26
<b>2.7</b>	<b>Situação Legal das TIs objeto da dissertação</b> .....	27
<b>2.8</b>	<b>Populações indígenas residentes na área</b> .....	29
2.8.1	Os Canelas .....	29
2.8.2	Os Guajajaras .....	31
<b>3</b>	<b>MATERIAIS E MÉTODOS</b> .....	34
<b>3.1</b>	<b>Área de estudo</b> .....	34
<b>3.2</b>	<b>Aquisição e processamento de dados</b> .....	36
<b>3.3</b>	<b>Determinação das estações climáticas</b> .....	37
<b>3.4</b>	<b>Delimitação das cicatrizes</b> .....	38
<b>3.5</b>	<b>Dinâmica espaço-temporal dos incêndios</b> .....	39
<b>4</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	40
<b>4.1</b>	<b>Determinação das estações climáticas e aspectos locais do clima</b> .....	40
<b>4.2</b>	<b>Padrões Anuais de Área queimada</b> .....	41
<b>4.3</b>	<b>Distribuição espacial e sazonal da área queimada</b> .....	46
<b>4.4</b>	<b>Mapa de recorrência de incêndios</b> .....	51
<b>5</b>	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS</b> .....	55
	<b>REFERÊNCIAS</b> .....	56

## 1 INTRODUÇÃO

Os incêndios florestais são considerados uma das principais fontes de danos às florestas em todo o mundo. Apesar de o fogo ocorrer naturalmente em diversos ambientes, queimadas de origem antrópica são cada vez mais frequentes no mundo todo, especialmente para a obtenção de áreas destinadas à agropecuária. Tais atividades podem alterar a intensidade e frequência naturais do fogo, e ainda modificar significativamente as comunidades biológicas onde o fogo raramente ocorre de forma natural. Ainda, outros fatores como clima podem influenciar fortemente os regimes de fogo, fator este que pode interagir sinergicamente com as atividades antrópicas, e assim causar ou agravar incêndios (FIDELIS et al., 2018).

Quantificar e avaliar estes danos, assim como estabelecer políticas adequadas de proteção contra incêndios são essenciais na preservação da biodiversidade, na garantia da qualidade atmosférica local e regional, e na redução da emissão de CO<sub>2</sub> e gases equivalentes (VAN DER WERF et al., 2017). Além do registro do número, distribuição espaço-temporal, e área queimada, é importante se estabelecer as épocas sazonais de maior ocorrência de incêndios e suas relações com a dinâmica climática local.

A identificação das causas prováveis dos incêndios florestais também é fator importante no planejamento de ações de prevenção. Assim, define-se incêndio florestal como sendo todo fogo sem controle que incide sobre qualquer forma de vegetação, podendo ter sido provocado pelo homem ou por fonte natural. Já queimada, é o fogo decorrente de prática agropastoril ou florestal, utilizado de forma controlada, atuando como um fator de produção (RAMOS-NETO; PIVELLO, 2000b).

O Cerrado tem sido classificado como um Bioma dependente do fogo, tendo uma dinâmica com forte influência do clima e que varia de acordo com a fitofisionomia local. No entanto, as atuais práticas agropecuárias e os conflitos agrários têm alterado o regime de fogo na região. Neste sentido, nem todos os incêndios possuem algum tipo de benefício ecológico, podendo, inclusive, agravar a degradação ambiental (KLINK; MACHADO, 2005).

Historicamente, as Terras Indígenas (TIs) do Cerrado maranhense têm registrado a ocorrência de incêndios florestais, e o diagnóstico destes eventos é de

fundamental importância para se entender as relações entre os regimes de queima nessas áreas e suas consequências. Nesse contexto, objetivou-se de forma geral analisar o regime de fogo, por meio do estudo dos padrões espaciais e temporais resultantes da relação entre as precipitações e incêndios, nas TIs do Cerrado maranhense e entorno no período 2008-2017. A área de estudo totaliza aproximadamente 1,2 milhões de hectares. Considerando a dimensão dessa área, a utilização do sensoriamento remoto e do geoprocessamento é estratégica por permitir uma análise histórica e abrangente.

Para as análises foi utilizada a série temporal das imagens *Landsat* (resolução 30 m) e dados de pluviosidade da Agência Nacional de Águas (ANA) e Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) disponíveis para o recorte adotado. Os objetivos específicos foram: i) caracterizar a duração, começo e final das estações chuvosas e secas para cada ano no período; ii) identificar e caracterizar as cicatrizes de área queimada por meio de séries temporais de imagens orbitais de sensoriamento remoto; iii) caracterizar a dinâmica sazonal da ocorrência de incêndios florestais, no período de 2008-2017.

Cabe ressaltar que a presente dissertação é parte de um projeto de pesquisa<sup>1</sup> mais abrangente, aprovado no edital CNPq/Prevfogo-Ibama Nº33/2018 para o desenvolvimento de pesquisas em ecologia, monitoramento e manejo integrado do fogo. Nele, estão sendo realizadas atividades paralelas, como a caracterização climática, a classificação do uso e cobertura da terra, e o estudo da regeneração pós-fogo da vegetação.

---

<sup>1</sup> Projeto intitulado "Abordagem intercultural para o manejo integrado do fogo em TIs no Maranhão", financiado pelo CNPq e IBAMA – Chamada CNPq/Prevfogo-Ibama Nº33/2018 - Pesquisas em ecologia, monitoramento e manejo integrado do fogo, coordenadora: G. Espindola.

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

### 2.1 Cerrado

O Cerrado é considerado a maior Savana tropical fora da África e uma das maiores ecorregiões da América do Sul, sendo classificado como uma Savana tipicamente diversa (RIBEIRO; WALTER, 2008), que cobre mais de 2 milhões de km<sup>2</sup>, distribuída continuamente nos estados da Bahia, Goiás, Maranhão, Mato Grosso, Mato Grosso do Sul, Minas Gerais, Paraná, Piauí, Rondônia, São Paulo, Tocantins e no Distrito Federal, representando cerca de 24% do território brasileiro (IBGE, 2019).

Apesar de estar distribuído predominantemente na área central do Brasil, o Cerrado apresenta grande variação longitudinal e latitudinal e estende-se em fragmentos que vão da Amazônia à Caatinga, e do Pantanal à Mata Atlântica, abrangendo 1.388 municípios brasileiros (IBGE, 2019). No Maranhão, o Bioma cobre aproximadamente 65% do território estadual (SOUZA et al., 2020).

Este Bioma apresenta ampla variação latitudinal (22,4°), elevação que varia do nível do mar a 1800 m e forte sazonalidade climática (estação chuvosa de outubro a março e estação seca de maio a setembro). A precipitação anual varia entre 600 mm e 2000 mm, aumentando de leste (fronteira com a semiárida Caatinga) a oeste (fronteira com a floresta amazônica brasileira). Durante a estação chuvosa, curtos períodos de seca podem ocorrer, enquanto na estação seca os níveis de chuva são deficientes e, frequentemente, não há chuva por três a cinco meses. A umidade relativa do ar pode ser inferior a 15% em julho e agosto (ASSAD, 1994).

A temperatura média anual é de aproximadamente 22–23 °C, enquanto a temperatura máxima absoluta não varia muito ao longo do ano, mas pode ser superior a 40 °C (COUTINHO, 2002). A temperatura mínima absoluta, no entanto, varia muito, atingindo valores negativos de maio a julho, causando geadas em algumas regiões na parte sul do Bioma. As flutuações dos níveis de precipitação costumam estar relacionadas ao fenômeno do El Niño, quando ocorrem secas que conseqüentemente incrementam a frequência e extensão da ocorrência de incêndios (ASSAD, 1994).

Essa alta heterogeneidade de habitats, somada a sua grande extensão, divisa com outros biomas, e alta sazonalidade climática têm possibilitado um maior estabelecimento de espécies diferentes. De forma que, em termos de biodiversidade, o Cerrado é considerado a Savana tropical mais rica do mundo (KLINK; MACHADO, 2005). Com mais de 10.000 espécies de plantas nativas, sendo 44% delas endêmicas,

o Cerrado apresenta elevada riqueza natural em termos de biodiversidade, que o faz ser considerado um dos *hotspots* mundiais e área prioritária para a conservação, considerando a forte pressão antrópica que tem sofrido (SILVA; BATES, 2002; MYERS et al., 2000; SIMON et al., 2009).

As regiões de Cerrado concentram a maior parte das áreas destinadas à agropecuária no Brasil, onde o agronegócio nacional mais desenvolve e se expande. Essas regiões estão localizadas especialmente na porção central e respondem por cerca de 60% dos de grãos do país, especialmente soja e milho (CARNEIRO FILHO; COSTA, 2016). A expansão da produção agropecuária na região foi o resultado de uma série de fatores simultâneos com destaque para processos migratórios e de colonização; programas de desenvolvimento do Governo Federal; adaptação tecnológica de produção; avanço da infraestrutura; aumento do preço da terra nos estados do Sul do Brasil e em São Paulo; e aumento da demanda interna de alimentos e das exportações (ALENCAR et al., 2020; ARAÚJO et al., 2019; SANO et al., 2019)

A atividade agropecuária impôs uma rápida e drástica redução de área, além disso, outras pressões antrópicas, como as mudanças nos regimes de fogo, ameaçam permanentemente as áreas remanescentes (SCHMIDT; ELOY, 2020). Essas pressões são cada vez mais intensas e frequentes em decorrência, sobretudo, da expansão da fronteira agrícola. Apesar da produtividade por hectare ter aumentando bastante nas últimas décadas, a taxa de substituição de vegetação natural por áreas de cultivo continua sendo a maior para os biomas do Brasil. Um bom exemplo é a região da MATOPIBA<sup>2</sup>, considerada a nova fronteira agrícola (ARAÚJO et al., 2019).

Entre as consequências da pressão antrópica e ocupação desordenada do Cerrado, o Bioma tem enfrentado a fragmentação de habitats, a redução da biodiversidade, a invasão por espécies exóticas, a erosão dos solos, a poluição de aquíferos, a alteração no regime de queimadas, o desequilíbrio no ciclo do carbono e, possivelmente, modificações climáticas regionais (STRASSBURG et al., 2017).

Esse cenário de degradação preocupa, pois apenas 8,21% de seu território é legalmente protegido por unidades de conservação. Desse total, 2,85% são unidades de conservação de proteção integral e 5,36% de unidades de conservação de uso sustentável. Outros 0,07% correspondem à Reserva Particular do Patrimônio Natural (RPPN) (STRASSBURG et al., 2017).

---

<sup>2</sup> Junção das siglas dos estados do Maranhão, Tocantins, Piauí e Bahia.

De acordo com os dados da iniciativa MAPBIOMAS (SOUZA et al., 2020a), o Cerrado já perdeu 45,4% de sua vegetação natural. Em números, isso equivale a 100 milhões de hectares. As áreas de pastagens ocupam 29,5% do Bioma, a agricultura anual representa 8,5% e as culturas perenes 3,1%, totalizando 41,1% do uso total. Nos últimos anos, Maranhão e Piauí lideraram o ranking dos estados que mais desmataram a vegetação dos seus territórios, neste período, a agropecuária e a produção do carvão, juntamente com o crescimento desordenado do meio urbano, foram responsáveis pelo aumento das áreas desflorestadas. Além disso são estados pertencentes à região da MATOPIBA (SOUZA et al., 2020).

Há de se ressaltar que o Cerrado tem sofrido recentemente um adicional impacto em função da expansão da atividade agrícola na região da MAPITIBA. A expansão da atividade agricultura mecanizada, geralmente em fazendas de monocultura, destinadas à produção de grãos, especialmente soja, tem gerado conflitos no campo envolvendo comunidades rurais e indígenas devido ao processo de disputa das terras tradicionalmente ocupadas ou usadas por lavradores e criadores locais de animais (ARAÚJO et al., 2019).

## **2.2 Vegetação do Cerrado**

A vegetação é uma das características mais marcantes desse Bioma e apresenta fisionomias que englobam formações florestais, savânicas e campestres, cada uma com tipos de vegetação característicos e níveis diferentes de adaptação a regimes de queima (KLINK et al., 2020). A biomassa total das plantas e os estoques de carbono no Cerrado variam de acordo com o tipo de vegetação, com uma média de 18,5 t C ha<sup>-1</sup> nas pastagens, 39,9 t C ha<sup>-1</sup> nas savanas e 68,6 t C ha<sup>-1</sup> nas florestas (ALENCAR et al., 2020).

A presença de uma ou outra fisionomia está associada às propriedades do solo, como a profundidade, fertilidade, e capacidade de drenagem, ou de interferências externas como o fogo, pastagem de gado ou extração madeireira. Este mosaico de habitats possui como fator unificador o fogo, que é um importante determinante da composição florística e da estrutura da vegetação (PIVELLO, 2011).

As formações savânicas ocupam a maior parte do Bioma (~76 milhões de hectares) e se concentram na região central. Enquanto que formações florestais ocupam menores proporções (~40 milhões de hectares) e se concentram ao norte. Já

as formações campestres ocorrem em fragmentos (~8 milhões de hectares) distribuídos ao longo do Bioma (SANO et al., 2010).

Ribeiro e Walter (2008), utilizando critérios ecológicos (mudanças estacionais, fatores edáficos, estrutura e forma de crescimento das plantas) e aspectos do ambiente, descrevem onze tipos principais fitofisionomias para o Bioma. Enquadrados nas formações florestais estão: Mata Ciliar, Mata de Galeria, Mata Seca e Cerradão. Formações Savânicas: Cerrado sentido restrito, Parque de Cerrado, Palmeiral e Vereda. Formações Campestres: Campo Sujo, Campo Limpo e Campo Rupestre.

Entende-se por floresta, as áreas com formação de dossel contínuo ou descontínuo e predominância de espécies arbóreas. O termo Savana designa a área com árvores e arbustos sobre um estrato graminoso, sem a formação de dossel contínuo. O campo se refere às áreas com predominância de espécies herbáceas e arbustivas sem a ocorrência de árvores (RIBEIRO; WALTER, 2008).

### **2.3 O fogo no Cerrado**

Atualmente, 8% do Bioma Cerrado queima anualmente, o que representa 17 Mha e ocorre em todos os tipos de vegetação ou fitofisionomias (INPE, 2020). Os incêndios naturais do Cerrado são causados por raios e ocorrem principalmente na transição entre a estação seca e a estação chuvosa (outubro a novembro), quando ocorrem raios sem chuva, ou durante períodos de seca (“veranicos”) na estação chuvosa. Os incêndios de origem humana ocorrem principalmente durante a estação seca (julho a outubro). Enquanto algumas plantas parecem adaptadas ao fogo, outras sofrem danos irreversíveis se a frequência do fogo mudar. O fogo também leva a mudanças na estrutura da vegetação (altura e densidade das árvores), e a recuperação da vegetação pode levar décadas (GOMES et al., 2020; RAMOS-NETO; PIVELLO, 2000b).

O fogo desempenha um papel no Cerrado nativo por transformar a estrutura da vegetação, composição e dinâmica das espécies (COUTINHO, 2002; SILVA et al., 2006; VEENENDAAL et al., 2018), e é um dos fatores determinantes mais importantes, especialmente quando usado para manter a diversidade de fitofisionomias e biodiversidade, ou usado pelo homem como ferramenta de manejo

para abrir áreas para agricultura e para manter verdes as pastagens nativas no final da estação seca.

No entanto, ainda não há um entendimento completo sobre como o fogo afeta a vegetação do Cerrado ou mesmo qual é o regime de fogo adequado (frequência, época e severidade). Há uma abordagem conflitante para a formulação de políticas em relação ao uso do fogo, que vai desde a proteção total contra o uso do fogo até a proposta do uso do fogo como ferramenta de gestão para reduzir a biomassa combustível e evitar grandes incêndios florestais tardios (DURIGAN, 2020).

### **2.3.1 Fogo nas Formações Florestais**

Existem poucas informações sobre o efeito do fogo nas fitofisionomias florestais do Cerrado. Em geral, as formações florestais apresentam um microclima próximo à superfície do solo desfavorável à propagação do fogo superficial, como alta umidade, baixa temperatura e ausência de vento (UHL; KAUFFMAN, 1990), além da presença de uma camada de serapilheira ou matéria orgânica no solo, mas não uma camada herbácea.

A ocorrência de incêndios naturais em formações florestais é rara; entretanto, incêndios superficiais ocorrem e consomem o material orgânico depositado no solo, causando a morte e / ou matança (destruição da estrutura acima do solo das plantas) de algumas plantas. A altura da chama é de cerca de 40 cm, mas não atinge a copa da vegetação (ALENCAR; NEPSTAD; DIAZ, 2006; MORTON et al., 2013; TYUKAVINA et al., 2017; VAN DER WERF et al., 2017).

Apenas 2,8% da área florestal queimada anualmente é o resultado de incêndios de superfície (MORTON et al., 2013). Balch *et al.* (2008) relataram que o fogo de superfície em uma floresta não é trivial, pois em seu estudo foram necessários quatro dias consecutivos, com adição de querosene e biomassa combustível em alguns pontos, para realizar uma queima prescrita nas áreas experimentais em uma floresta na zona de transição no Cerrado, mesmo depois de mais de dois meses sem chuvas.

A maior parte das queimadas em formações florestais ocorre em áreas previamente desmatadas ou alteradas (CHEN et al., 2013; MONTIBELLER et al., 2020; ROSAN et al., 2019). Em geral, as queimadas ocorrem onde a vegetação foi previamente cortada e depois queimada (corte e queima) ou em áreas parcialmente desmatadas, quando o corte da vegetação não é necessário (NEPSTAD et al.,

1999).O corte e a queima são essenciais para a formação de pastagens ou terras agrícolas na Amazônia (UHL; KAUFFMAN, 1990).

### **2.3.2 Fogo nas Formações Savana e Campestre**

Devido às características estruturais da vegetação do Cerrado, ou seja, uma camada herbácea contínua com grande variação na densidade de plantas lenhosas que não formam um dossel contínuo, e da sazonalidade das chuvas, os incêndios no Cerrado costumam ser de superfície. A biomassa combustível, onde o fogo se propaga, está na camada herbácea, que é composta principalmente por gramíneas ou graminóides, folhas e caules (diâmetro menor que 6 mm).

O fogo é rápido - taxas de propagação do fogo entre 0,2 m / se 0,5 m / s são usuais, mas às vezes em condições ambientais muito especiais eles podem atingir um valor máximo de 2,2 m / s (GOMES et al., 2020; MIRANDA; NETO; NEVES, 2010) e a altura média da chama atinge 2,5 m, às vezes queimando algumas coroas de indivíduos arbóreos (GOMES et al., 2020; KAUFFMAN; CUMMINGS; WARD, 1994; MIRANDA; NETO; NEVES, 2010).

O Instituto Nacional de pesquisas espaciais (INPE) monitora as mudanças na cobertura florestal da Amazônia desde 1988. A partir de 2016, o INPE também monitora as mudanças na cobertura do Cerrado. No Brasil, a área total queimada anualmente é de cerca de 35 Mha, dos quais mais da metade está no Cerrado, ou 17 Mha. As estimativas apontam para 16 Mha/ano de área queimada do Cerrado de 2001 a 2015, onde 52% da área não apresentou nenhum incêndio no período, 35% com dois incêndios, 10% com cinco incêndios e 3% a mais de cinco incêndios (ROSAN et al., 2019).

Os fogos naturais são provocados por raios (principalmente durante a transição da estação seca para a chuvosa). Não há relâmpagos durante a estação seca (maio a outubro), portanto, os incêndios na estação seca são devido ao aumento do papel do homem desde a ocupação indígena. Os fogos antrópicos são gerados principalmente pelos agricultores para renovar pastagens, abrir novas áreas para a agricultura ou mesmo controlar pragas. Por outro lado, os fogos da estação das chuvas podem ter origens naturais ou antrópicas (RAMOS-NETO; PIVELLO, 2000b).

Recentemente, alguns especialistas consideraram que a exclusão do fogo do Cerrado seria por si só um “agente perturbador” dos ecossistemas. Portanto, tem sido

proposta a implementação do Manejo Adaptativo Integrado do Fogo (MIF) em áreas protegidas com o objetivo de reduzir a biomassa combustível (e consequentemente a ocorrência de incêndios severos), controlar as gramíneas invasoras, ou permitir o uso do fogo por tradicionais ou comunidades indígenas (BARBOSA et al., 2016; MISTRY et al., 2019; SCHMIDT et al., 2016, 2018).

A frequência de ocorrência de incêndios é outro fator importante para a compreensão dos seus efeitos no ecossistema (SUGANUMA; DURIGAN, 2015). As áreas protegidas são um bom local de análises de recorrência, pois, os regimes podem ser comparados com áreas que possuem atividades antrópicas (FIDELIS et al., 2018; RAMOS-NETO; PIVELLO, 2000). Alvarado et. al., (2017) observaram que em unidades de conservação, para 80% das queimadas no período de 1984 a 2014, o intervalo entre as queimadas foi inferior a 5 anos. Para fisionomias de formações campestre e fisionomias abertas de Savana, como Savana-parque e Savana arborizada, a frequência de queima é a cada 3 anos e, juntas, representam aproximadamente 84% da área queimada anualmente. As fitofisionomias mais densas, como a Savana florestal, apresentam intervalo de fogo de 5 anos e representam cerca de 4% da área queimada anualmente. A vegetação associada à drenagem, como a floresta de palmeiras vereda com graminóides, apresenta valores intermediários de retorno ao fogo (PEREIRA JÚNIOR et al., 2014).

### **2.3.3 Adaptação da vegetação ao fogo**

Vários estudos descrevem a recuperação da vegetação do Cerrado após o incêndio e a associação entre aspectos edáficos e climáticos para explicar a frequência do fogo, a arquitetura da planta e a densidade da vegetação (KLEIN, 2000; WARMING; FERRI, 1973). A existência de xilopódio e outros órgãos subterrâneos como características permitia a recuperação de plantas após o incêndio. Hoje, sabe-se que existe uma grande diversidade nos sistemas subterrâneos das plantas do Cerrado que dão origem às gemas subterrâneas que permitem a rebrota após o fogo (SIMON et al., 2009).

Essas feições subterrâneas e cascas grossas de arbustos e árvores já foram consideradas como adaptações à seca e solos pobres em nutrientes do Cerrado. Recentemente, foi relatado que eles deveriam ser considerados como adaptações ao fogo, uma vez que esses atributos coincidiram com a expansão de gramíneas de

savanas tropicais (DANTAS; PAUSAS, 2020; SIMON et al., 2009; SIMON; PENNINGTON, 2012).

Mesmo que as plantas do Cerrado possam ter essas adaptações, o fogo ainda pode afetar a distribuição das espécies e a composição das espécies no ecossistema. Algumas estruturas aéreas podem ser consumidas durante o incêndio, diminuindo a biomassa da planta e danificando ou até matando-a. Essas características adaptativas devem ser úteis para proteger ou permitir a persistência das espécies, mas isso depende dos regimes de fogo, especialmente a frequência com que as queimadas ocorrem. Sabe-se que o aumento da frequência de fogo pode diminuir a capacidade de rebrota, mesmo de espécies adaptadas, e aquelas espécies sem tais características (não adaptadas) podem sofrer aumento da mortalidade (MEDEIROS; MIRANDA, 2008; PAUSAS; KEELEY, 2009).

#### **2.3.4 Impacto do fogo na Camada herbácea**

O fogo afeta diretamente as espécies de camadas herbáceas, uma vez que algumas plantas são totalmente consumidas pelo fogo, como gramíneas e outros graminóides (principalmente de monocotiledôneas como *Cyperaceae*, *Xyridaceae*, *Iridaceae*), enquanto algumas são apenas parcialmente consumidas pelo fogo. É possível identificar quatro padrões de rebrota após o fogo, com base em quando a biomassa máxima é atingida: (1) no início da estação chuvosa; (2) no meio da estação chuvosa; (3) na segunda metade da estação chuvosa; e (4) fim da estação seca (SIMON et al., 2009).

Vários estudos contabilizaram o número de espécies de camada herbácea que florescem após o fogo. Há registros de florações maciças alguns dias ou semanas após o fogo (ELOY et al., 2019). Munhoz e Felfili (2005) registraram 106 espécies florescendo 3 meses após um incêndio e 128 espécies oito meses após. Independentemente do padrão apresentado pela espécie, um ano após um incêndio, pelo menos metade da biomassa combustível (principalmente grama e graminóides) é recuperada, dependendo da frequência do fogo, do momento em que o fogo é iniciado, da precipitação e do tipo de solo (VEENENDAAL et al., 2018).

Na região central do Bioma Cerrado, pelo menos 70% da biomassa combustível é recuperada até meados da estação chuvosa seguinte. A biomassa morta representa 65% do total, e esse percentual é uma informação bastante importante, pois sugere a possibilidade de sustentar um novo evento de incêndio posteriormente se houver

biomassa combustível suficiente (VEENENDAAL et al., 2018). Conhecer a dinâmica da biomassa combustível permite entender se e quando o Cerrado pode ser queimado e inferir que fisionomias de Savanas podem ser queimados a qualquer momento um ano após um incêndio anterior.

### **2.3.5 Impacto do fogo na camada lenhosa**

Geralmente a camada lenhosa não é consumida pelo fogo, mas as altas temperaturas podem danificar partes das árvores e sua recuperação depende da frequência do fogo e da estação do fogo. Adaptações ao fogo, como casca grossa que permite resistência a altas temperaturas, ou a capacidade de regeneração, são características importantes, uma vez que altas temperaturas podem afetar diretamente as plantas lenhosas, especialmente as menores, ou afetá-las indiretamente por meio de ar quente (ar de convecção), resultando em danos a galhos, folhas, flores e frutos.

Os principais tipos de danos e rebrota são descritos por Sato et al. (2010): Danos leves - danos parciais com rebrota aérea (epígea), ou seja, novas folhas e galhos no tronco principal; Dano moderado ou top-kill - dano parcial com rebrota basal e/ou subterrânea (hipogéia) e morte do tronco principal; Dano severo - dano total sem rebrota após pelo menos duas estações de crescimento, ou seja, mortalidade de plantas; Top-kill + dano severo = hastes destruídas.

Assim, o tamanho da planta é importante; não só a altura, que pode permitir que elas escapem da zona de chama, mas também o diâmetro do tronco, pois existe uma correlação positiva entre o diâmetro e a espessura da casca. Mudanças de árvores sofrem danos severos e morrem numa taxa de 50% quando expostas a incêndios (HOFFMANN; ORTHEN; VARGAS DO NASCIMENTO, 2003).

A maioria das pequenas plantas lenhosas, como subarbustos e arbustos (menos de 5 cm de diâmetro basal), podem sofrer danos moderados a graves. Foi relatado, por exemplo, que para uma Savana de parque, 22,5% dos indivíduos lenhosos (diâmetros iguais ou maiores que 2 cm) morreram após um incêndio prescrito (MEDEIROS; MIRANDA, 2005). Mais de 60% das plantas vivas apresentaram danos leves após o primeiro incêndio; após o terceiro incêndio, isso foi reduzido para 42%. O número de plantas brotando também diminuiu, diminuindo a capacidade de sobrevivência dos indivíduos. A frequência do fogo, portanto, é um indicador importante de que a vegetação da Savana está se tornando mais aberta.

Danos a plantas lenhosas (5 cm ou mais de diâmetro) submetidas a fogos prescritos bienais na Savana do parque e Savana arborizada foram relatados por alguns estudos. O dano severo, após um primeiro incêndio, foi inferior a 13%, variando de 5% para a Savana do parque queimada em agosto a 13% para a Savana arborizada queimada em setembro. A gravidade dos danos aumenta após cinco incêndios bienais, chegando a até 48% (queima tardia na Savana do parque). O momento do incêndio parece ser um fator importante que leva a mudanças na estrutura da vegetação, onde os incêndios no final da estação seca podem causar mais danos nos caules destruídos (75% na Savana arborizada) do que os incêndios prematuros (41% na Savana do parque) (PALERMO; MIRANDA, 2012).

Mesmo com essas altas porcentagens de caules destruídos, algumas plantas atingem o diâmetro mínimo (5 cm ou mais - novos indivíduos). Contar as plantas que atingem o diâmetro mínimo junto com as plantas que sofrem apenas danos leves resulta na manutenção de pelo menos 65% das árvores para incêndios prematuros e apenas 28% para incêndios tardios. Então, além da frequência de fogo, o momento do início do fogo (a estação do fogo) é de fato um fator importante que afeta os indivíduos arbóreos, mudando sua arquitetura, tamanho da população e fatores reprodutivos (GAWRYSZEWSKI; SATO; MIRANDA, 2020; PALERMO; MIRANDA, 2012).

#### **2.4 Ecologia e Uso Tradicional do fogo**

O papel do fogo sobre as comunidades biológicas deve ser analisado em função do contexto em que o mesmo ocorre. Os efeitos serão diferentes em ambientes naturalmente propensos ao fogo, como é o caso das savanas, daqueles em ambientes que não queimam naturalmente, ou em que pelo menos tal ocorrência é muito rara, como é o caso das florestas tropicais. O fogo é essencial para a manutenção de áreas de savanas, enquanto altera profundamente a estrutura de florestas tropicais, de forma que ambos os sistemas são altamente ameaçados por atividades antrópicas propensas a causar mudanças nos regimes de queimadas (BOND; PARR, 2010).

Apesar dos incêndios naturais terem sido reportados como importantes para o Cerrado (PINHEIRO; MONTEIRO, 2010), as mudanças de uso e cobertura da terra, e as atuais práticas agrícolas e pecuárias, têm alterado o regime de fogo na região. Neste sentido, também tendo sido reportado o fato de que hoje os incêndios de origem antrópica ocorrem mais frequentemente do que no passado (PIVELLO, 2011).

Dependendo do regime de fogo, ou seja, das diferentes combinações de tipo de fogo, intensidade, frequência, e sazonalidade, serão também diferentes as suas consequências na estrutura e composição da vegetação (PIVELLO; COUTINHO, 1996), e neste sentido, nem todos os incêndios possuem algum tipo de benefício ecológico.

Se por um lado a ausência de fogo pode causar acumulação de biomassa vegetal e favorecer a ocorrência de incêndios florestais mais graves, por outro lado, dependendo da estação ou época do ano em que o fogo ocorre, este poderá ser mais nocivo ou mais favorável à vegetação de estrutura arbórea ou herbácea, devido às diferenças de seus ciclos fenológicos (PIVELLO; COUTINHO, 1996). Assim, estas mudanças no regime de fogo podem dar lugar à liberação de níveis inaceitáveis de gases de efeito estufa, facilitando ainda a invasão de espécies exóticas, a degradação do solo, a perda da qualidade do ar e da biodiversidade, constituindo uma grave ameaça ao ambiente (SHLISKY et al., 2009).

No entanto, sabe-se que o fogo tem sido ativamente usado no Cerrado pelas populações indígenas por mais de 4.000 anos. A história de ocupação humana no Cerrado data de pelo menos 12 mil anos (RIBEIRO et al., 2005), e as populações indígenas atuais são herdeiras culturais dos primeiros habitantes, especialmente quanto aos usos medicinais e culinários da flora e fauna. Outras comunidades têm, igualmente, estreita relação de conservação com o Bioma, como os quilombolas, geraizeiros, quebradeiras de coco babaçu, ribeirinhos e vazanteiros, que estão presentes em praticamente todo o Bioma, assim como no Maranhão.

O uso tradicional do fogo pelas comunidades indígenas é bastante diverso, tendo sido usado para abrir caminhos, limpar os entornos das habitações, e abrir áreas para o cultivo. Também é usado para atividades de caça, coleta de mel, rituais e até para a guerra. Regimes específicos de fogo eram usados pelas populações indígenas com cuidado e precisão, e para necessidades específicas, como por exemplo, para estimular a frutificação de determinadas espécies, para controlar pragas, e para a fertilização do solo (KLEIN, 2000).

Outra prática habitual era o uso de fogo para mudar o cultivo. As práticas de queima para a preparação dos cultivos foram transmitidas pelos indígenas para os camponeses depois da colonização europeia, mas o conhecimento foi parcialmente perdido. Para ter benefícios, esta prática precisa de grandes áreas para a rotação, e a recuperação da vegetação. Hoje, como a grande maioria das populações indígenas

vive em terras federais demarcadas, com características semi-sedentárias, muito houve de adaptação do manejo tradicional do fogo para fins de cultivo (PIVELLO, 2011).

O fogo é uma realidade bem evidente nas TIs (TIs) do Cerrado maranhense e soma-se a outras adversidades que marcam essa região. Segundo O'Dwyer (2016), os incêndios florestais de grandes proporções que atingiram as TIs do Maranhão, no período de setembro de 2015 a abril de 2016, afetaram remanescentes de floresta Amazônica e do Cerrado, em territórios de ocupação tradicional reconhecidos e demarcados pelo Estado brasileiro, sendo estes as TIs: Araribóia, Geralda do Toco Preto, Cana Brava, Governador, Krikati, Lagoa Comprida, Bacurizinho, Urucu-Juruá, Porquinhos, Kanela, e as TIs Alto Turiaçu, Awá e Caru, que formam o complexo Alto Turiaçu. (O'DWYER, 2016). Ainda, segundo dados do Instituto Socioambiental - ISA (2018), a TI Bacurizinho, no Maranhão, é a TI com maior número de focos de queimadas do Brasil.

Historicamente, estas e outras TIs do Maranhão têm registrado a ocorrência de incêndios florestais, e pesquisas a respeito do diagnóstico destes eventos são de fundamental importância para se entender as relações entre os regimes de queima natural e as práticas de queima antrópica. Tais pesquisas são também essenciais para o desenvolvimento de estratégias de gestão, gerando subsídio aos planos de manejo e gerenciamento das áreas. O manejo de incêndios e queimadas abrange características ecológicas de diversos biomas e o seu uso tradicional por uma variedade de povos e comunidades com objetivos distintos. Assim, o fogo pode ser tanto benéfico como prejudicial, dependendo de como, onde, quando e por que é utilizado. Para isso é crucial entender seu regime.

## **2.5 Sensores e técnicas utilizados no monitoramento de incêndios**

O fogo pode ocasionar benefícios aos ecossistemas, mas dependendo do seu regime, ele pode ter efeitos catastróficos sobre a disponibilidade de serviços de ecossistema, conectividade de habitat e crescimento da floresta (DURIGAN, 2020). Há a necessidade de detectar, avaliar e delimitar a severidade das queimadas em incêndios florestais para o controle e recuperação da vegetação natural (CHEN et al., 2011; MEDDENS; KOLDEN; LUTZ, 2016). O uso de sensoriamento remoto e do geoprocessamento é frequente para essas ações dando seu potencial para monitorar uma grande área de incêndios florestais. Muitos estudos recentes demonstram a

aplicação da coleção Landsat para delimitar e avaliar a severidade de queima em uma grande área de floresta (Savana e outros biomas), aplicando índices espectrais como Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI), Índice de Vegetação Aprimorado (EVI), Normalizado Taxa de queima (NBR) e outros.

Nesse sentido, Cheng et al. (2011) examinaram as correlações entre os índices espectrais multitemporais e a severidade da queima observada em campo e, em seguida, forneceram um método prático para estimar a severidade da queima e a recuperação da vegetação. Os autores usaram índices espectrais: NDVI, EVI; NBR; Índice Florestal Integrado (IFI) e a diferença entre os anos anteriores e posteriores ao fogo. O IFI representa a probabilidade de um pixel ser floresta com base nas estatísticas da imagem. Este estudo usou apenas cenas Landsat para alcançar os resultados. Um estudo semelhante foi desenvolvido por Meddens et al. (2016), e aqui os autores usaram um índice adicional: o Índice de Diferença Normalizada de Umidade (NDMI), usado para determinar o conteúdo de água na vegetação.

O uso de sensoriamento remoto para monitorar incêndios florestais não se restringe ao uso da coleção Landsat, mas também pode incluir outros satélites de observação terrestre, como Sentinel-2, MODIS, SPOT e outros que foram equipados com sensores multiespectrais. Fava e Colombo (2017) usaram três satélites diferentes: MODIS, SPOT e Landsat. Essa faixa de satélites é frequentemente utilizada em estudos publicados de 2011 a 2020, reforçando o uso de mais de um satélite para melhor análise espacial e temporal (DE OLIVEIRA et al., 2015; DWOMOH et al., 2019; PALAIOLOGOU et al., 2020).

O estudo de Oliveira et al. (2015) foi relacionado a incêndios florestais em áreas indígenas no Brasil. Os autores aplicaram uma classificação de imagens supervisionadas, o algoritmo Mahalanobis, em ambiente SIG, seguida de uma demarcação manual das áreas atingidas por incêndios, incluindo a área queimada não detectada pelo algoritmo. Este estudo é relevante porque utiliza sensores com resolução espacial que varia de 20 a 30 metros, a área de estudo é no Cerrado e a população mais afetada é indígena. Os sensores usados foram Landsat-5, CBERS-2, Resoursat-1 e Landsat-?.

O problema do uso de sensoriamento remoto com produtos livres está relacionado à dificuldade dos satélites terem alta resolução espacial e menor resolução temporal. Os satélites Sentinel-2 são os que apresentam as melhores características quando apenas esses parâmetros são considerados. No entanto,

esses satélites têm apenas cinco anos de imagens completas da superfície da Terra. Assim, o uso da série Landsat com outros satélites é mais frequente para estudos que buscam validar os resultados por meio de uma comparação entre eles e em longos períodos.

Ngadze et al. (2020) compararam os resultados entre os produtos do MSI Sentinel-2 e OLI Landsat-8, comparando as bandas espectrais que apresentaram a melhor capacidade de detecção das áreas queimadas. As bandas espectrais do infravermelho próximo (NIR), vermelho, borda vermelha e azul contribuíram mais para a detecção da área queimada ao usar o Landsat-8 e o Sentinel-2. Os autores classificaram os dados de sensoriamento remoto usando o algoritmo Random Forest (RF). Com a utilização da banda térmica OLI Landsat-8, os resultados obtidos com este sensor foram melhores que os resultados obtidos com o MSI Sentinel-2, embora este último tenha uma resolução espacial superior.

Em 2020, alguns estudos usaram o OLI Landsat-8 com o MSI Sentinel-2 para detectar, avaliar e delimitar os incêndios florestais. Palaiologou et al. (2020) usaram Sentinel-2 para delimitar a área queimada, e esses autores também usaram os produtos Landsat Burned Area (LBA) para identificar tratamentos de incêndio prescritos dentro das áreas de tratamento classificadas. Índices espectrais como a Razão de Queima Normalizada (NBR), o Índice de Vegetação Normalizada por Diferença (NDVI), o Índice de Água Normalizado por Diferença (NDWI) e a Razão de Queimadura Relativizada (RBR) foram aplicados aos produtos Sentinel-2. Os autores descreveram a importância do uso de imagens do satélite Sentinel-2 para análises que visam delimitar as áreas queimadas em pequenos hectares. Resultados semelhantes seriam mais desafiadores de obter com o sensor OLI considerando sua resolução espacial de 30 metros.

O produto mais usado para detecção de incêndio publicado entre 2011 e 2020 vem do sensor Moderate-Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS) que possui uma resolução espacial média (250 m, 500 m e 1000 m) e uma série histórica iniciada em 1999. A utilização do MODIS possibilita detectar a emissão de gases e material particulado 2,5 $\mu$ m (PM<sub>2,5</sub>). Assim, o uso de sensoriamento remoto para monitorar incêndios florestais não se restringe ao uso da coleção Landsat, mas também pode-se incluir outros satélites de observação terrestre, como Sentinel-2, MODIS, SPOT e outros que foram equipados com sensores multiespectrais.

## 2.6 TIs

### 2.6.1 Conceito

As TIs são as porções do território nacional que pertencem aos povos tradicionais indígenas, habitada por um ou mais comunidades indígenas e utilizada por estes em suas atividades produtivas, culturais, bem-estar e reprodução física. As TIs são bens da União, e como tal é inalienável e indisponível, e os direitos sobre ela são imprescritíveis. O processo de regularização fundiária desses territórios segue uma série de ritos processuais. Após estudos históricos e antropológicos atestarem que determinado território é tradicional indígena, essa área passa por um processo administrativo de demarcação e homologação. habitada por um ou mais comunidades indígenas, utilizada por estes em suas atividades produtivas, culturais, bem-estar e reprodução física. Assim sendo, se trata de um bem da União, e como tal é inalienável e indisponível, e os direitos sobre ela são imprescritíveis (FUNAI, 2019).

### 2.6.2 Modalidades

Nos termos da legislação vigente (CF/88, Lei 6001/73 – Estatuto do Índio, Decreto n.º 1775/96), as TIs podem ser classificadas em três modalidades: Terras Tradicionalmente Ocupadas, Reservas Indígenas e Terras Dominiais.

- As **TIs Tradicionalmente Ocupadas** são aquelas de que trata o art. 231 da Constituição Federal de 1988, cujo processo de demarcação é disciplinado pelo Decreto n.º 1775/96.
- As **Reservas Indígenas** são terras doadas por terceiros, adquiridas ou desapropriadas pela União, que se destinam à posse permanente dos povos indígenas. São terras que também pertencem ao patrimônio da União, mas que não se confundem com as terras de ocupação tradicional. Além disso, vale destacar que existem reservas indígenas, que foram reservadas pelos Estados-membros, mas que hoje são reconhecidas como de ocupação tradicional.
- As **Terras Dominiais** são aquelas de propriedade das comunidades indígenas, havidas, por qualquer das formas de aquisição do domínio, nos termos da legislação civil.

Vale destacar também o termo “**Terras Interditadas**”, que pode ser confundido como uma modalidade de TI, mas trata-se somente de um instrumento administrativo

utilizado para assegurar a proteção de comunidades ou grupos indígenas que vivem em situação de isolamento.

### 2.6.3 Regularização Fundiária das TIs

**No caso de TIs Tradicionalmente Ocupadas.** De acordo com a Constituição Federal vigente, os povos indígenas detêm o direito originário e o usufruto exclusivo sobre as terras que tradicionalmente ocupam. As fases do procedimento demarcatório das terras tradicionalmente ocupadas são definidas por Decreto da Presidência da República e atualmente consistem em:

- **Em estudo:** Realização dos estudos antropológicos, históricos, fundiários, cartográficos e ambientais, que fundamentam a identificação e a delimitação da TI.
- **Delimitadas:** Terras que tiveram os estudos aprovados pela Presidência da Funai, com a sua conclusão publicada no Diário Oficial da União e do Estado, e que se encontram na fase do contraditório administrativo ou em análise pelo Ministério da Justiça, para decisão acerca da expedição de Portaria Declaratória da posse tradicional indígena.
- **Declaradas:** Terras que obtiveram a expedição da Portaria Declaratória pelo Ministro da Justiça e estão autorizadas para serem demarcadas fisicamente, com a materialização dos marcos e georreferenciamento.
- **Homologadas:** Terras que possuem os seus limites materializados e georreferenciados, cuja demarcação administrativa foi homologada por decreto Presidencial.
- **Regularizadas:** Terras que, após o decreto de homologação, foram registradas em Cartório em nome da União e na Secretaria do Patrimônio da União.
- **Interditadas:** Áreas Interditadas, com restrições de uso e ingresso de terceiros, para a proteção de povos indígenas isolados.

**No caso de Reservas Indígenas.** A União poderá estabelecer, em qualquer parte do território nacional, áreas destinadas a posse e ocupação pelos povos indígenas, onde possam viver e obter meios de subsistência, com direito ao usufruto e utilização das riquezas naturais, garantindo-se as condições de sua reprodução física e cultural.

Para constituição das Reservas Indígenas, adotam-se as seguintes etapas do processo de regularização fundiária:

- **Encaminhadas com Reserva Indígena (RI):** Áreas que se encontram em procedimento administrativo visando sua aquisição (compra direta, desapropriação ou doação).
- **Regularizadas:** Áreas adquiridas que possuem registro em Cartório em nome da União e que se destinam a posse e usufruto exclusivos dos povos indígenas. As áreas dominiais estão inclusas neste item.

## 2.7 Situação Legal das TIs objeto da dissertação

A maioria das TIS abordadas nessa dissertação está na fase Regularizada, portanto, são terras completamente asseguradas aos indígenas do ponto de vista fundiário, mas parte delas está em processo de regularização. Alguns desses processos se arrastam por décadas e são objeto de intensa disputa judicial, o que favorece a invasão e a grilagem nesses territórios tradicionalmente ocupados. O Quadro 1 apresenta a situação de cada TI.

**Quadro 1** – Situação Jurídica e modalidade das TIs

Nome da TI	Etnia	Fase	Modalidade	Reestudo	Área (ha)
<b>Kanela</b>	Canela Ramkokamekrá	Regularizada	Tradicionalmente ocupada	Não	125.577
<b>Kanela Memortumré</b>		Delimitada	Tradicionalmente ocupada	Sim	100.301
<b>Porquinhos</b>	Canela Apãnjekra	Regularizada	Tradicionalmente ocupada	Não	79.410
<b>Porquinhos dos Canela-Apãnjekra</b>		Declarada	Tradicionalmente ocupada	Sim	221.838
<b>Bacurizinho</b>	Guajajara	Regularizada / Declarada	Tradicionalmente ocupada	Sim	133.978
<b>Urucu/Juruá</b>		Regularizada	Tradicionalmente ocupada	Não	12.751
<b>Cana Brava/Guajajara</b>		Regularizada	Tradicionalmente ocupada	Não	136.473
<b>Lagoa Comprida</b>		Regularizada	Tradicionalmente ocupada	Não	13.245
<b>Rodeador</b>		Regularizada	Dominial Indígena	Não	2.324

**Fonte:** Autor, com dados da FUNAI.

A TI Kanela Memortumré refere-se a uma proposta de ampliação do território do povo Memortumré, que está na fase Delimitada (Despacho 549 - 29/08/2012 da FUNAI), porém, em 2020, o Ministério da Justiça devolveu o processo administrativo à Funai para que haja a adequação ao parecer (001/2017), expedido pela Advocacia

Geral da União. O Parecer atualmente se encontra suspenso por decisão do Supremo Tribunal Federal.

A TI Porquinhos dos Canela-Apãnjekra é uma ampliação do território dos Apãnjekra e está na fase Declarada (Portaria 3.508 - 22/10/2009 do Ministério da Justiça), porém suspensa por determinação do Supremo Tribunal Federal. A TI Bacurizinho conta com 82 mil hectares regularizados e 52 mil declarados (Portaria 1.234 - 01/07/2008 do Ministério da Justiça).

A morosidade e a falta de celeridade nos processos de regularização fundiária geram insegurança jurídica, que afeta diretamente os povos que ocupam esses territórios (VARGA, 2008). Recentes mudanças na FUNAI limitaram a capacidade do órgão de embargar a certificação de terras privadas dentro de territórios não homologados, ou seja, aqueles que aguardam o decreto presidencial, última fase do processo de demarcação antes do registro definitivo.

Proprietários de terras são obrigados por lei a cadastrar suas propriedades no sistema [Sigef] do Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária (Incra) — sem a certificação, não é possível registrar a terra no cartório, tomar financiamentos legais ou licenciar obras, como hidrelétricas, e outras atividades, como pedidos de mineração.

A Instrução Normativa Nº 9, de 16 de abril de 2020 da FUNAI autoriza a certificação de terras privadas em áreas indígenas não homologadas, assim, as TIs em processo de demarcação no país deixam de ser um empecilho para o registro dessas propriedades. Também perdem proteção às áreas formalmente reivindicadas por grupos indígenas, as com portaria de restrição de uso, as de referência de índios isolados e as cedidas para usufruto indígena. Somente entre os anos de 2019-2020, cerca de 74 fazendas foram certificadas dentro dos limites das TIs Bacurizinho, Kanela Memortumré e Porquinhos dos Canela-Apãnjekra.

Ressalta-se que estas comunidades atualmente vivem em conflito com os fazendeiros por conta da demarcação das terras. Nas duas últimas décadas, empreendimentos de soja, cana-de-açúcar, arroz, pecuária semiextensiva atingiram o entorno das TIs, o que gerou impactos econômicos e socioambientais para os indígenas na região (O'DWYER, 2016).

## 2.8 Populações indígenas residentes na área

### 2.8.1 Os Canelas

Canela é a denominação genérica de dois grupos de índios Timbira: os *Ramkokamekrá* e os *Apanyekrá*. O termo é uma referência à estatura média desses índios, visivelmente mais altos quando comparados à população regional e a seus vizinhos Guajajara. Os Canela falam uma língua Timbira da família Jê, do tronco Macro-Jê, e entendem o Krikati/Pukobyé com facilidade e Gavião do Tocantins, sendo essas as principais línguas Timbira orientais que sobreviveram (DO NASCIMENTO, 2010). Apesar de manterem algumas diferenças significativas, os dois grupos são pautados pelo mesmo repertório cultural. O grupo *Ramkokamekrá* (“índios do arvoredo de almecega”) atualmente se autodenomina com o nome português “Canela”, já o grupo *Apanyekrá* (“povo indígena da piranha”) prefere a denominação como tal e são conhecidos na bibliografia apenas por esse nome e suas variações ortográficas, ou ainda por *Apanyekrá-Canela* (AZANHA, 1984).

A principal aldeia *Ramkokamekrá*, Escalvado, fica na TI Canela, Município de Fernando Falcão, que hoje encontra-se juridicamente homologada e registrada. Tratam-se de terras de Cerrado, com matas de galeria e pequenas chapadas. O limite sul da TI fica em grande parte delimitado pela serra das Alpercatas. O rio Corda corre fora da TI, afastado 20 Km, ao longo do limite noroeste (SOCIOAMBIENTAL, 2019a).

No que diz respeito aos *Apanyekrá*, a regularização da TI Porquinhos aconteceu no começo da década de 1980. A aldeia principal encontra-se a cerca de 80 Km a sudoeste do município de Barra do Corda e 45 Km a oeste da aldeia *Ramkokamekrá* de Escalvado. Está a leste do município de Grajaú, separada por 75 Km de área de Cerrado facilmente transponível. Enquanto os *Ramkokamekrá* vivem basicamente em áreas de Cerrado com pequenos igarapés, os *Apanyekrá* (TIsPorquinhos) têm essa mesma ecologia a leste e sul, contando, no entanto, com extensas áreas florestais a norte e oeste. Possuem também o rio Corda, que em alguns pontos tem oito metros de largura (SOCIOAMBIENTAL, 2019b)

Os ancestrais dos *Ramkokamekrá*, *Kapiekran*, sofreram diversas incursões contra sua população e seu modo de vida desde o primeiro contato no século XVII, Ataques periódicos partiam das milícias locais ou bandeiras, organizadas para tomar e assegurar as terras. Dizimados por essas guerras durante todo o século XVIII, o grupo rendeu-se às forças brasileiras da região no século XIX, em Pastos Bons, em

troca de proteção. Seus remanescentes, bem como os de outras várias nações timbiras, foram autorizados a se estabelecerem no canto noroeste das suas terras ancestrais. No final de 1830, eles ocupavam por volta de 5% das antigas áreas originárias. No início do século XX, em função de disputas territoriais com fazendeiros, o grupo foi obrigado a se transferir temporariamente para territórios Guajajara (SOCIOAMBIENTAL, 2019a)

Essa mudança forçada para uma zona ecológica diferente os expôs a tipos adversos de agricultura e caça, assim como à convivência com os Guajajara, que já detinham uma cultura urbana brasileira. A proximidade fez com que esse grupo adotasse parte da cultura brasileira, estimulando um maior investimento no trabalho agrícola direcionado para a obtenção desses bens e favorecendo a riqueza material individual (OLIVEIRA, 2002).

A primeira menção aos *Apanyekrá* data do final da década de 1810. Eles habitavam a área montanhosa a oeste dos *Kapiekran*. Sofriam, assim, menos ataques de jagunços, já que estavam menos expostos que os *Kapiekran*, que habitavam as terras mais planas a leste e a sul ao longo do Itapicuru e do baixo Alpercatas (SOCIOAMBIENTAL, 2019b).

No início dos anos 1830, as terras férteis das nascentes do rio Corda e seus arredores foram ocupadas por colonos criadores de gado. Os *Apanyekrá* foram então forçados a conviver com sertanejos. No século XIX, estiveram sujeitos a forte controle de fazendeiros locais. Eles os empregavam em suas fazendas e em tarefas de suas casas. Os *Apanyekrá* eram mais isolados do que os *Ramkokamekrá* não apenas porque aqueles estavam mais distantes de Barra do Corda, mas também porque as florestas ao longo do rio Corda se estendem quase continuamente entre a cidade e Porquinhos, dificultando a construção de uma estrada direta entre as duas (COELHO; GIRALDIN; FISHER, 2018).

As colheitas tradicionais dos índios Canela incluíam amendoim, milho, batata-doce, inhame, abóbora, feijão-de-corda (*Phaseolus* sp.), mandioca-brava (*wayput-re*), macaxeira, algodão, cabaças e outros produtos. Os gêneros mais comuns hoje - a mandioca, arroz e feijão - foram adotados depois do contato com a sociedade nacional, bem como banana, laranja, manga, melancia, abacaxi, mamão, tabaco, cana-de-açúcar e outros itens (OLIVEIRA, 2002).

Entre os *Ramkokamekrá*, nas pequenas florestas-galeria de sua terra, roças ribeirinhas eram abertas com machados de pedra e queimadas. Essas roças

tradicionais produziam menos de 25% do alimento, enquanto coleta, pesca e caça supriam o resto. No final dos anos 1830, o reassentamento em áreas que representavam por volta de 5% das terras que ocupavam obrigou os *Ramkokamekrá* a praticar mais extensivamente o sistema de roças de coivara, de acordo com o modelo regional.

No final dos anos 1940, a economia de ambos os grupos se tornou deficiente, dependendo de apoio externo para se manter. Passaram a depender significativamente dos alimentos fornecidos pela agência indigenista e praticar o sistema de "meia" com os moradores, trabalhando em suas terras para ficar com metade da produção. As roças dos *Ramkokamekrá* voltaram a produzir alimento suficiente para sua sobrevivência, no entanto, continuam a ter uma produção insuficiente nos períodos secos. As roças começam a produzir em janeiro e o ápice da produção se dá com a colheita de arroz no mês de maio. Já os *Apanyekrá* não alcançaram esse retorno à autossuficiência, mas mantiveram mais plantas nativas que os Guajajara e cultivavam suas roças de modo menos influenciado por métodos sertanejos.

### **2.8.2 Os Guajajaras**

Os Guajajara são um dos grupos indígenas mais numerosos do Brasil, habitando mais de 10 TIs na margem oriental da Amazônia, todas situadas no Maranhão (IBGE, 2010). Eles falam uma língua pertencente à família do Tupi, o *Tenetehara*, termo que também é considerado uma denominação do grupo. Guajajara significa "donos do cocar", e *Tenetehara*, "somos os seres humanos verdadeiros". Não se conhece com certeza a origem do nome Guajajara, mas provavelmente foi dado pelos *Tupinambá*. Tanto entre os próprios índios quanto na literatura científica, a denominação Guajajara é mais usada do que *Tenetehara* (DINIZ, 1988; GOMES, 2002), mas os indígenas se sentem mais afeiçoados à última denominação (CRUZ; COELHO, 2012).

Segundo Wagley e Galvão (1961), o primeiro contato com esse grupo pode ter acontecido no início do século XVII, nas margens do rio Pindaré, mais especificamente no Alto Pindaré, com uma expedição exploradora francesa. Durante quase todo o século XVII, esse grupo foi assolado por expedições escravagistas dos portugueses no médio e no alto Pindaré. Esta situação mudou com a instalação das missões

jesuítas (1653-1755), que ofereceram certa proteção contra a escravidão, mas implicaram um sistema de dependência e servidão.

Depois da expulsão dos jesuítas da Colônia pela Coroa, os Guajajara conseguiram recuperar parte de sua antiga independência, reduzindo os contatos com os colonizadores. A partir de meados do século XIX, foram progressivamente integrados em sistemas regionais de patronagem, com todas as formas conhecidas de exploração extrema (como coletores ou remeiros, por exemplo). Os Guajajara, esporadicamente reagiam violentamente, mas em geral permaneciam submissos (WAGLEY; GALVÃO, 1961). No século XIX alguns aldeamentos já mantinham boas relações com as povoações; principalmente os dos índios Guajajara (Tenetehara) que entre todos são os que tinham “sempre manifestado mais tendência para a vida civilizada” (MARQUES, 1960).

Apesar dos relatos de boas relações com os não-índios, os conflitos não eram raros, ocorrendo em diversas localidades do Maranhão, inclusive no perímetro do Mearim, o que remete às observações de que esse grupo que ocupou a região de Barra do Corda e adjacências têm origem no Vale do Pindaré. Vários são os conflitos documentados (ZANNONI, 1999; GOMES, 2002).

A chegada na região de Barra do Corda pode ter sido resultado de três processos. O primeiro foi o crescimento demográfico da etnia, que levava a migrações realizadas sobretudo por interesse em obter artefatos úteis ao seu cotidiano. O segundo ponto é a frequência de conflitos existentes entre os diversos povos que ocupavam o interior do Maranhão. O terceiro é o adensamento da penetração ao interior por conquistadores não-índios, que, aliado às políticas estatais de colonização das regiões próximas ao litoral, acabaram “empurrando” esses grupos indígenas cada vez mais em direção ao interior do território (EVERTON, 2016).

A história recente dos Guajajara é marcada por conflitos sangrentos, que surgiram a partir dos anos 1950 e 70, com a expansão descontrolada de latifúndios no centro do Maranhão, empurrando muitos posseiros para dentro dos territórios indígenas. O maior palco destes conflitos foi de novo Cana-Brava, com o povoado ilegal de São Pedro dos Cacetes, que existiu de 1952 a 1995 e contra o qual os Guajajara tiveram que resistir quatro décadas, com apoio apenas esporádico do Governo Federal (GOMES, 2002).

Como a maioria dos povos indígenas no Brasil, os povos indígenas no Maranhão que sobreviveram às sucessivas ações de extermínio executadas por

portugueses, brasílicos e brasileiros, todos, sem exceção, sofreram drásticas reduções e alterações em suas terras tradicionalmente ocupadas. Sob impacto dos projetos de desenvolvimento, das madeireiras, dos latifúndios, dos grandes empreendimentos agropecuários, a floresta vem recuando rapidamente (VARGA, 2008).

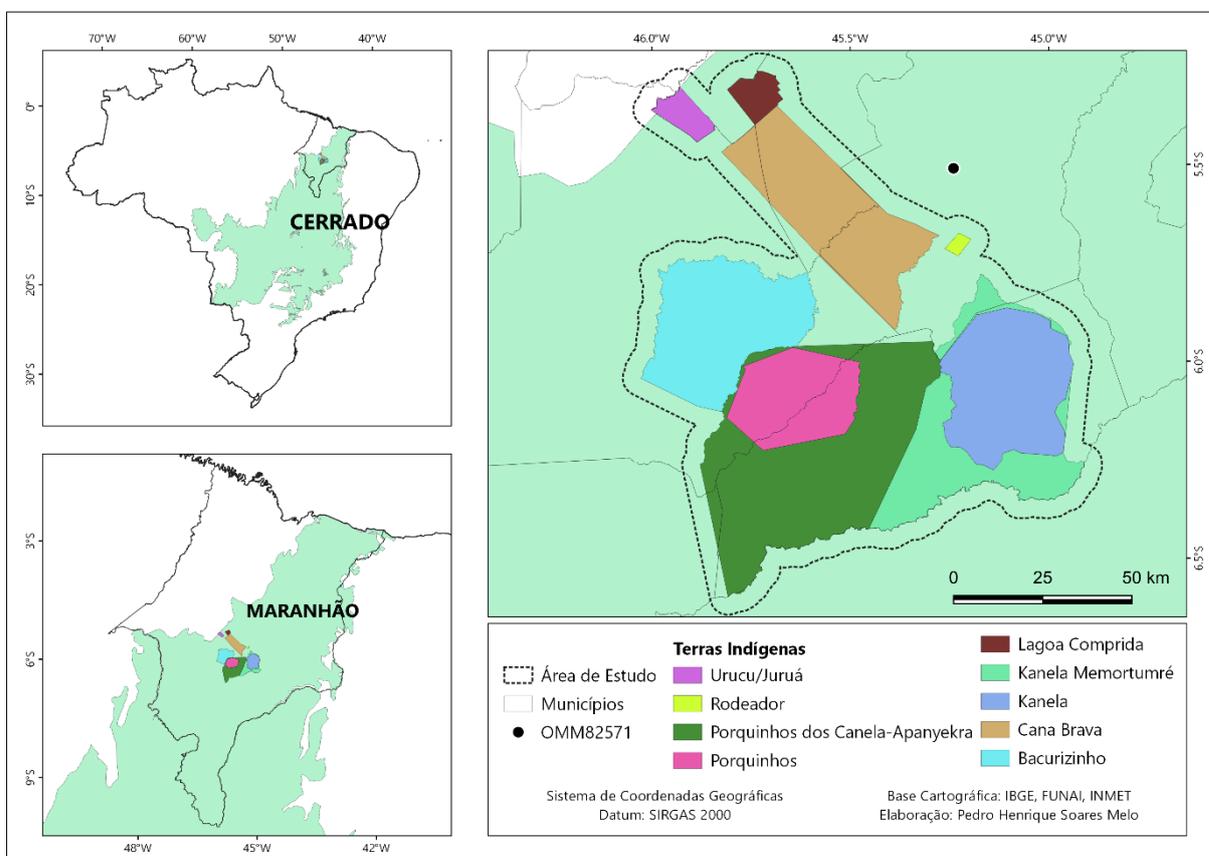
Essas comunidades ainda vivem em conflito com fazendeiros, caçadores e madeireiros. Algo que poderia ser melhorado com a demarcação e regularização dos territórios tradicionalmente ocupados. Mesmo as TIs já regularizadas necessitam de constante vigilância, pois nas duas últimas décadas, empreendimentos de soja, cana-de-açúcar, arroz, pecuária semiextensiva aumentaram as pressões nesses territórios, o que gerou impactos econômicos e socioambientais para os indígenas na região, especialmente a intensificação dos incêndios (O'DWYER, 2016).

### 3 MATERIAIS E MÉTODOS

#### 3.1 Área de estudo

A área de estudo localiza-se na porção central do estado do Maranhão (**Figura 2**), sendo caracterizada pelo Bioma Cerrado e delimitada pela órbita-ponto Landsat 221/64 (fig.1). Tal área engloba nove TIs (Quadro 2), sendo que duas destas possuem ou possuíram atuação do Centro Nacional de Prevenção e Combate aos Incêndios Florestais (Prevfogo) do Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA): TI Bacurizinho (2018 -2019), e TI Porquinhos (desde 2017). Além das TIs indicadas no quadro 2, considerou-se como área de estudo a região de entorno destas, com uma distância de até 5 km (*buffer*) do limite externo dos territórios, perfazendo-se uma área total de aproximadamente 1,2 milhões hectares.

**Figura 1** - Mapa de localização da área de estudo.



**Fonte:** Autor

A maioria das TIs está na fase Regularizada, portanto, são terras completamente asseguradas aos indígenas do ponto de vista fundiário, mas parte delas está em processo de regularização. A TI *Kanela Memortumré* trata-se de uma

proposta de ampliação do território do povo Memortumré, que está na fase de Delimitação. A TI Porquinhos dos Canela-Apanyekrá é uma ampliação do território dos Apanyekrá e também está na fase de delimitação. A TI Bacurizinho conta com 82 mil hectares regularizados e 52 mil declarados. Alguns desses processos se arrastam por décadas e são objeto de intensa disputa judicial, o que favorece a invasão e a grilagem nesses territórios tradicionalmente ocupados. O Quadro 1 apresenta a situação fundiária de cada TI.

Esses territórios indígenas encontram-se demarcados e regularizados desde o início dos anos 80 (O'DWYER, 2016) e são formados, em sua maior parte, por terrenos arenosos cobertos por vegetação de Cerrado e matas de galeria que acompanham os riachos existentes nessas áreas (IBGE, 2019). A TI *Porquinhos* é cortada, ainda, pelo rio Corda em seu alto curso, e possui maiores recursos florestais do que a TI *Kanela*. O autor supracitado sublinha que em relação à situação da área do entorno das atuais TIs *Kanela* e *Porquinhos*, em sua maior parte, é formada por terras da União e do Estado do Maranhão, e por uma Unidade de Conservação, o Parque Estadual do Mirador (OLIVEIRA, 2007).

**Quadro 2 - Caracterização das TIs**

<i>Nome da TI</i>	<i>Etnia</i>	<i>Fase</i>	<i>Modalidade</i>	<i>População</i>	<i>Reestudo</i>	<i>Área (ha)</i>
<i>Kanela</i>	Canela Ramkokamekrá	Regularizada	Tradicionalmente ocupada	2103		125.577
<i>Kanela memortumré</i>	Canela Ramkokamekrá	Delimitada	Tradicionalmente ocupada	1961	Reestudo	100.301
<i>Porquinhos</i>	Canela Apanyekrá	Regularizada	Tradicionalmente ocupada	677		79.410
<i>Porquinhos dos Canela- apanyekrá</i>	Canela Apanyekrá	Declarada	Tradicionalmente ocupada	569	Reestudo	221.838
<i>Bacurizinho</i>	Guajajara	Declarada*	Tradicionalmente ocupada	3663	Reestudo	133.978
<i>Urucujuruá</i>	Guajajara	Regularizada	Tradicionalmente ocupada	835		12.751
<i>Cana brava</i>	Guajajara	Regularizada	Tradicionalmente ocupada	4510		136.473
<i>Lagoa comprida</i>	Guajajara	Regularizada	Tradicionalmente ocupada	805		13.245
<i>Rodeador</i>	Guajajara	Regularizada	Dominial Indígena	126		2.324
<i>Entorno (buffer 5km)</i>	-	-	-	-	-	386.488
<b>TOTAL</b>	<b>População Indígena: 15.836</b> <b>Área das TI: 825.897 ha</b> <b>Área de Estudo: 1.212.385 ha</b>					

**Fonte:** Elaboração do Autor com dados da FUNAI

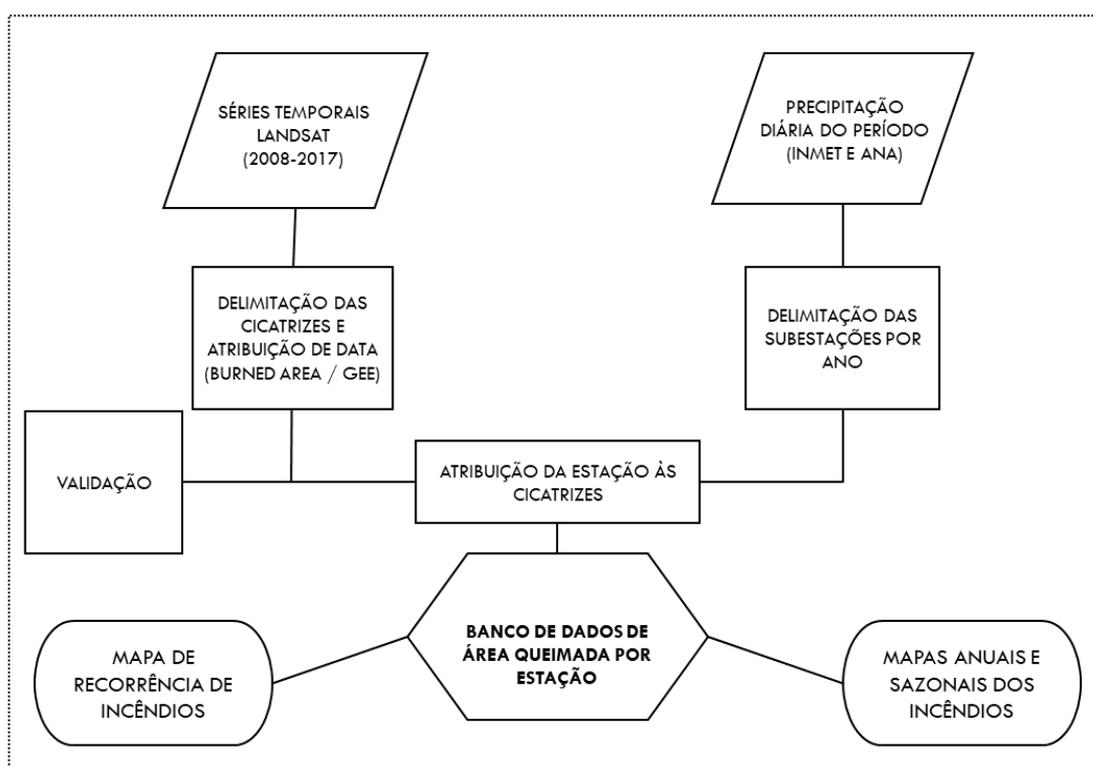
Por fim, mas não menos importante, destaca-se que a área de estudo se insere no conjunto de fronteiras dos territórios estaduais que têm composto o MATOPIBA. No caso particular do Maranhão, trata-se de um fragmento incorporado tardiamente às manchas de modernização agrícola dessa nova fronteira (ARAÚJO et al., 2019).

Neste sentido, o MATOPIBA tem atraído estudos sobre temas variados na produção do conhecimento científico. As pesquisas realizadas, por exemplo, discutem a incorporação de antigos territórios de reserva naturais às formas capitalistas de produção globalizada, a formação de uma nova regionalização no “Cerrado norte-nordeste” do Brasil, e não raro, discutem também os conflitos no campo envolvendo comunidades rurais e indígenas devido ao processo de disputa das terras tradicionalmente ocupadas ou usadas por lavradores e criadores locais de animais, adicionando dinâmicas e novas identidades aos domínios territoriais nesta porção do Brasil (SANO et al., 2019).

### 3.2 Aquisição e processamento de dados

As etapas do processo metodológico estão resumidas na **Figura 2**. Nela constam as bases de dados e etapas seguidas. Para manuseio e modelagem dos dados foram utilizados os *softwares* Qgis® (versão 3.6), R® (versão 4.0).

**Figura 2** - Fluxograma dos procedimentos metodológicos



Fonte: Autor

### 3.3 Determinação das estações climáticas

Para determinação das datas de início e fim das estações climáticas foram utilizados dados de precipitação diária provenientes da estação meteorológica OMM 82571, localizada do município de Barra do Corda-MA (Latitude: -5.50°; Longitude: -45.23°), gerenciada pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET). A estação fica a cerca de 50km de distância do centro da área de estudo. O começo e final da estação chuvosa para cada ano climatológico foi calculado seguindo a metodologia de Liebmann et al. (2007).

Se  $R(j)$  é a precipitação diária no dia  $j$ ,  $\bar{R}$  é a sua média anual (no ano climatológico sob consideração), definimos uma quantidade chamada acumulação de anomalias, do seguinte modo:

$$A(j) = \sum_{i=1}^j [R(i) - \bar{R}]$$

(1)

onde o dia 1 é elegido para ser o 1 de julho (no começo do mês mais seco). Assim, o começo da estação chuvosa será o dia depois daquele para o qual  $A(j)$  alcança o mínimo valor dentro do ano climatológico. Do mesmo modo, o final da estação chuvosa se corresponde com o dia para o qual,  $A(j)$  alcança o seu valor máximo. A duração da estação chuvosa pode-se calcular como a diferença em dias entre o começo e o final.

Para cada ano climatológico (começando em julho e acabando em junho do ano seguinte), determinou-se o início, o fim e a duração das estações chuvosas e secas. Assim, o período estudado (2008-2017) foi dividido em estações climáticas segundo a precipitação diária da região.

Foram separadas as estações chuvosas (EC) e secas (ES). A estação seca foi subdividida para diferenciar entre três períodos diferentes, segundo Alves e Pérez-Cabello (2017): estação seca inicial, média e tardia. O período mais longo de dias consecutivos com precipitações menores a 5 mm foi identificado como a estação seca média (ESM), e o resto dos dias ao começo e ao final da estação seca como a estação seca inicial (ESI) e estação seca tardia (EST), respectivamente.

### 3.4 Delimitação das cicatrizes

Nesta etapa foram utilizadas séries temporais, do período de 2008-2017, de imagens Landsat-5, Landsat-7 e Landsat-8 (respectivamente, sensores *Thematic Mapper*, *Enhanced Thematic Mapper Plus* e *Operational Terra Imager*) de 30 m de resolução espacial, e órbita-ponto 221/64 (Markham *et al.*, 2015), do Nível 2 (*Surface Reflectance*), disponíveis de forma livre tanto no catálogo do *Google Earth Engine* (GEE) (GORELICK *et al.*, 2017), quanto na plataforma *EarthExplore United States Geological Survey* (WOODCOCK ET AL., 2008).

A amostragem temporal foi definida com base na análise da sazonalidade, e na disponibilidade de imagens de qualidade (VERMOTE *et al.*, 2016). Em um mesmo ano, preferencialmente, foram consideradas imagens do mês mais úmido da época chuvosa, e do mês mais seco da época seca. Depois da aquisição, as imagens foram analisadas e transformadas em mapas e formaram um banco de dados geográficos, concebido no âmbito do SIG.

O mapeamento das cicatrizes de incêndio foi realizado por meio de adaptações no algoritmo desenvolvido por Bastarrika *et al.* (2018) na plataforma GEE. O algoritmo *Burned Area* (BA) é baseado na ferramenta *Automatic Burned Area Mapping Software* (ABAMs) de Bastarrika *et al.* (2011), e este algoritmo encontra-se disponível para utilização de forma aberta. O algoritmo BA agrega imagens *Landsat* de três meses antes e três meses depois do mês de análise, em uma composição multitemporal, avaliando os valores médios da diferença dos Índices de Queimada Normalizada 2 (NBR2) nas imagens pré-fogo, e os valores máximos do NBR2 nas imagens pós-fogo, conforme equação 2.

$$NBR2 = \frac{(SWIR - SWIR2)}{(SWIR + SWIR2)}$$

(2)

onde SWIR = Infravermelho Médio, e SWIR2 = Infravermelho Médio 2.

Uma vez detectadas as cicatrizes, o algoritmo emprega uma estratégia em duas fases. Na primeira fase, define-se a seleção de alguns pixels dentro da área queimada. Na segunda fase, o algoritmo começa a analisar com critérios restritivos os pixels vizinhos dos inicialmente selecionados. Desta forma, são gerados polígonos

correspondentes às áreas queimadas, tendo-se a data da primeira detecção como atributo (Bastarrika et al., 2018).

Para a validação das áreas queimadas, foram geradas imagens falsa cor *Red Green Blue*, utilizando as bandas de comprimento de onda do infra-vermelho de onda curta (SWIR), infra- vermelho próximo (NIR) e verde. Assim, as cicatrizes de incêndio foram visualizadas em tons de magenta, rodeados por uma matriz verde, com nuvens brancas e sombras de nuvens pretas. As bandas NIR e SWIR são geralmente utilizadas para estudar o comportamento do fogo, como a severidade de área queimada, porque o NIR reage naturalmente de forma positiva à área foliar e à produtividade, e o SWIR reage de forma positiva à seca e às superfícies não vegetadas (Key e Benson, 2006). Portanto, a combinação do NIR de alta reflectância com o SWIR de baixa reflectância permite distinguir entre a vegetação queimada e não queimada (MENG; ZHAO, 2019).

### **3.5 Dinâmica espaço-temporal dos incêndios**

Para se estabelecer os padrões de ocorrência de incêndios em função da sazonalidade, no período de 2008-2017, foi utilizada a base de dados gerada nas etapas anteriores. Em primeiro lugar, foi gerado um mapa anual sintético com as cicatrizes delimitadas e depois atribuída a cada cicatriz a correspondente subestação segundo a data de ocorrência, seguindo o modelo de trabalho de Alves, Pérez-Cabello (2017) e Alves *et al.* (2018). As cicatrizes foram categorizadas segundo a área total, o ano, a época do ano, e o mês. Desta forma, foi possível diagnosticar os períodos com maior ocorrência de incêndios, os períodos nos quais grandes áreas são atingidas pelo fogo, quais são as TIs mais atingidas por incêndios, quais as fitofisionomias, e demais informações derivadas.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 Determinação das estações climáticas e aspectos locais do clima.

Foi identificada grande variabilidade interanual no clima da região. As médias e desvios padrões foram calculados para um conjunto de dados de 33 anos, assim elas podem refletir com mais acurácia a realidade climatológica local. A data média de começo da estação chuvosa é 7 de dezembro e a variabilidade, quantificada como o desvio padrão é de 27 dias. O final da estação chuvosa ocorre em média no dia 28 de abril e a sua variabilidade é 28 dias.

A data mais adiantada do começo da estação chuvosa foi 18 de outubro (no ano 1997-1998) e a data mais tardia de começo foi 22 de janeiro (ano 2002-2003). O final mais adiantado foi 19 de março (ano 2006-2007) e o final mais tardio foi 25 de maio (anos 2012-2013 e 2013-2014). Assim o período entre o 22 de janeiro e o 19 de março, com duração de 58 dias, é o período mais longo que fica sempre dentro da estação chuvosa (nos 33 anos sob consideração). Não foram identificadas tendências significativas de mudança na temporalidade da estação chuvosa.

A duração média estação chuvosa é de  $143 \pm 27$  dias (média  $\pm$  desvio padrão). Os anos com estação chuvosa mais curta foram 2014-2015 (85 dias). Por outro lado, os anos com estação chuvosa mais prolongada foram 2013-2014 (209 dias). Em relação à taxa de chuva (média da precipitação diária no período chuvoso), a média no período é:  $7 \pm 2$  mm dia. Uma medida da sazonalidade é o quanto do total da precipitação anual acontece dentro das datas da estação chuvosa, a média dessa porcentagem chega a  $(85 \pm 7) \%$ , indicando uma sazonalidade bem marcante na área estudada.

A precipitação anual apresentou tendência de queda, explicada pela diminuição da precipitação dentro da estação chuvosa. Os meses de junho até outubro são os mais secos, sendo julho o mês com menor precipitação. Os meses mais chuvosos são aqueles entre dezembro e abril, com pico de precipitação mensal em março. A precipitação anual média no período é de  $1146 \pm 323$  mm, e a duração média da estação chuvosa é de  $143 \pm 27$  dias (média  $\pm$  desvio padrão).

A duração média da estação seca é de  $221 \pm 35$  dias. Sendo que a Estação Seca Inicial (ESI) tem uma duração média de  $49 \pm 34$  dias, a Estação Seca Média (ESM) uma duração de  $93 \pm 41$  dias e a Estação Seca Tardia (EST) uma duração

média de  $78 \pm 51$  dias. Não foi encontrada tendência linear significativa para mudanças no período. As datas com início e fim das estações secas estão expressas na tabela 1. Dado que uma ES acontece sempre entre duas EC, as datas anteriores ao início e subsequentes ao fim da ES pertencem à EC.

**Tabela 1** - Datas de começo e final da estação seca, bem como sua duração, e precipitação da estação chuvosa. Onde: I = Início; F = Final e D= Duração. A duração está expressa em dias. O ano climatológico é diferente do ano calendário, então é possível que um mesmo ano tenha datas de estações chuvosas diferentes. Por exemplo: O ano calendário de 2008 contém datas na EC 2007-2008 nos meses iniciais e datas na EC 2008-2009 nos meses finais.

	ESTAÇÃO SECA									
	ESI			ESM			EST			Precipitação EC (mm)
	I	F	D	I	F	D	I	F	D	
2008	12/05	25/05	14	26/05	18/10	146	19/10	12/12	55	1084
2009	21/05	12/06	23	13/06	22/08	71	23/08	08/12	108	1396
2010	20/04	15/07	87	16/07	23/10	100	24/10	12/12	50	829
2011	21/05	09/07	50	10/07	30/09	83	01/10	17/10	17	1239
2012	26/03	21/07	118	22/07	14/10	85	15/10	03/12	50	792
2013	26/05	20/07	56	21/07	06/10	78	07/10	28/10	22	728
2014	.	.	0	26/05	23/09	121	24/09	18/01	117	1179
2015	14/04	06/06	54	07/06	19/10	135	20/10	30/12	72	549
2016	17/05	11/06	26	12/06	16/09	97	17/09	17/12	92	611
2017	03/05	12/06	41	13/06	30/10	140	.	.	0	830

**Fonte:** Elaboração do autor com dados da Agência Nacional de Águas e Instituto Nacional de Meteorologia.

## 4.2 Padrões Anuais de Área queimada

De 2008 a 2017, a área queimada total nas TIs e entorno foi 2.599.393 hectares, distribuída em 26.282 cicatrizes. A ES concentra 2.529.593 ha (97%) desse total. A Estação Seca Média (ESM) concentrou a maior parte das queimadas, com 2.211.757 hectares, o que corresponde a 85% do acumulado nos dez anos estudados. A ESI apresentou 110.519 hectares (4%), e a EST, 207.316 (8%). Durante a Estação Chuvosa (EC) foram queimados 69.801 ha (3%) (**Figura 4**).

A área queimada anual foi bem diferente nos dez anos estudados. Os anos de 2012 e 2017 foram os que tiveram mais área queimada, com 584.386 e 512.535 ha respectivamente. Os anos com menor área queimada foram 2008 e 2011, com 65.245 e 57.255 ha respectivamente. Os resultados detalhados estão expressos na Tabela 2 e **Figuras 2 e 3**. Os anos com grandes extensões de área queimada aconteceram num intervalo curto entre um e dois anos, padrão comum no Cerrado.

Os anos com maiores extensões de área queimada foram seguidos de anos com pouca extensão. Isto pode significar que a área queimada de um ano controla a

do ano posterior, já que não há suficiente biomassa acumulada para agir como combustível para causar grandes incêndios porque já foi queimada. Segundo Alves e Pérez-Cabello (2017), a área queimada um ano controla e delimita a área que vai queimar no ano seguinte, provavelmente porque as cargas de combustível são limitadas pela propagação do fogo do ano anterior. Essa tendência pode ser observada comparando os cinco anos que mais queimaram com seu ano próximo correspondente (2009-2010, 2012-2013, 2015-2016).

**Tabela 1** - Distribuição anual e sazonal das áreas queimadas em hectares.

Ano	Estação Seca			Estação Chuvosa	Total Anual
	ESI	ESM	EST		
2008	0	51.753	12.188	1.314	65.254
2009	0	95.359	103.664	0	199.023
2010	21.806	114.722	3.612	66	140.206
2011	28.739	28.501	0	15	57.255
2012	51.327	522.151	10.909	0	584.386
2013	6.116	105.252	19.889	670	131.926
2014	0	210.394	14.034	247	224.675
2015	971	344.728	42.605	388	388.691
2016	0	283.808	416	11.218	295.442
2017	1.561	455.089	0	55.885	512.535
<b>Total (2008-2017)</b>	<b>110.519</b>	<b>2.211.757</b>	<b>207.316</b>	<b>69.801</b>	<b>2.599.393</b>

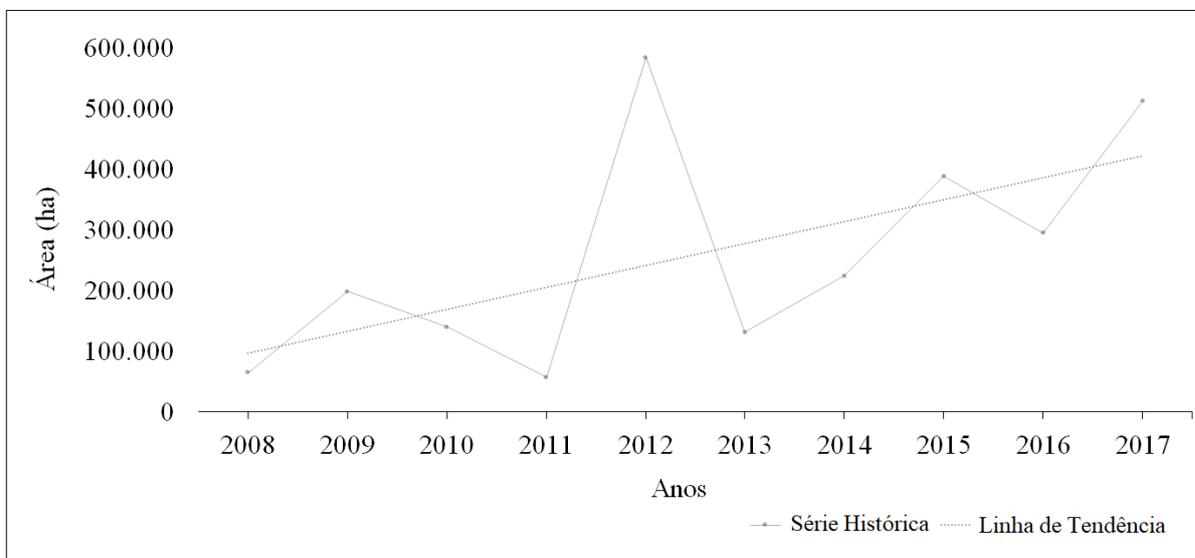
Fonte: Autor

Os anos com grandes extensões de área queimada aconteceram entre um intervalo de um ou dois anos, esse comportamento é comum para ambientes de Cerrado e também foi observado em parques nacionais e TIs (Alvarado et al., 2017; Alves e Pérez-Cabello, 2017). O curto intervalo de retorno pode estar relacionado às altas taxas de recuperação e produção líquidas dos ecossistemas tropicais. O que significa uma grande acumulação de biomassa propensa ao fogo na estação chuvosa (COSTA-MILANEZ et al., 2015; GRACE et al., 2006).

A produção da biomassa ocorre durante a EC e aumenta com o incremento das quantidades de precipitações, sobretudo depois da ES (Martínez-Ramos et al., 2018). Presume-se que a biomassa produzida durante a EC e não consumida por fogo na imediata ES será acumulada junto com a nova biomassa gerada na seguinte EC, virando combustível com altas probabilidades de se queimar. Isso pode ser

evidenciado analisado os anos anteriores àqueles com grandes extensões de área queimada. 2012, 2015 e 2017 são precedidos por anos com área queimada próxima ou abaixo da média para o período estudado, respectivamente 2011, 2014 e 2016.

**Figura 3** – Área queimada anual.



**Fonte:** Autor

O ano de 2012 teve a maior porcentagem de área queimada (584.386 ha) no período estudado. Uma das explicações possíveis é o fato dos anos anteriores (2008, 2009, 2010, 2011) apresentarem pouca área queimada, assim, o combustível acumulado nesse período pode ter resultado nos grandes incêndios do ano subsequente. A precipitação pode controlar indiretamente a atividade do fogo, pela produção e, portanto, pela disponibilidade de combustível (Mayr et al., 2018). Achou-se uma relação entre a precipitação da EC e área anual queimada subsequente (regressão linear simples,  $p = 0,02$ ,  $R^2 = 0,22$ ), de forma que os anos com menor precipitação apresentam maiores extensão de áreas queimadas.

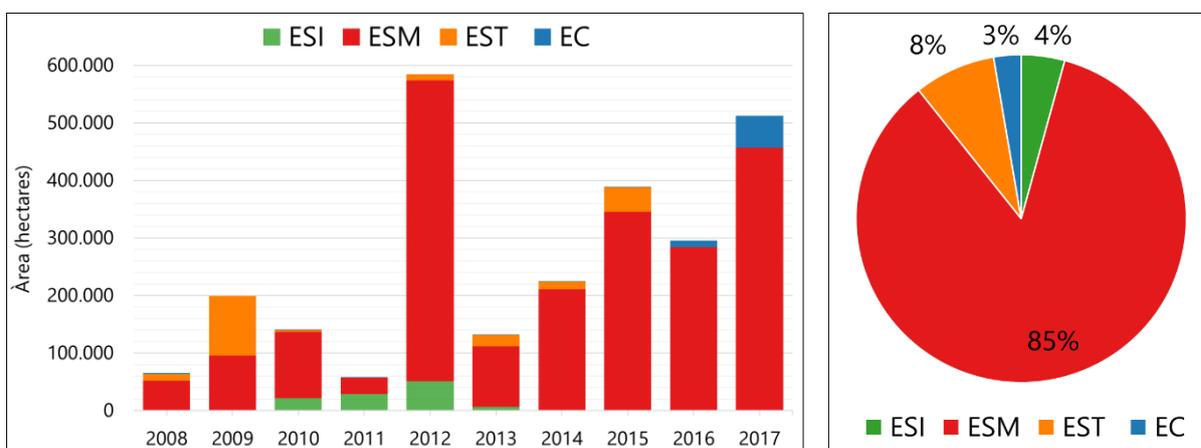
Isto demonstra que a quantidade de biomassa produzida (proporcional à quantidade de precipitação) não é um bom parâmetro para definir a quantidade de área queimada durante a ES imediata. Assim sendo, a EC apresentou relação com a extensão de área queimada da ES imediata não pela produtividade, mas provavelmente pela umidade do combustível. A umidade também é um modulador da extensão dos fogos, uma vez que anos mais secos favorecem a perda de umidade do combustível, deixando-o mais propenso à ignição (SCHMIDT; ELOY, 2020).

Este é o caso do ano 2015, que teve grandes extensões de área queimada durante a ES (estação de ignição) apesar de sua baixa produção na EC (estação de crescimento). A precipitação da EC 2014-2015 foi a menor no período estudado (549 mm) e o ápice da seca prolongada que o estado viveu entre 2012 e 2016. Por sinal, as maiores extensões de área queimada (2012, 2015, 2016, 2017) foram observadas em anos de seca prolongada.

Quando há ocorrência de anos com déficit de chuva em relação à média histórica, a tendência é que a extensão das áreas queimadas aumente, padrão já observado no Cerrado maranhense como um todo (SILVA JUNIOR et al., 2018), na região da Baixada Maranhense (SILVA JUNIOR et al., 2016) e Amazônica (DARBYSHIRE et al., 2019; DIONIZIO et al., 2018). Este fato é bastante importante, visto que, em nossas análises, o período apresentou tendência de redução de chuvas na região, também observado por Silva *et al.*, (2016).

Isso demonstra a sensibilidade do Cerrado à ocorrência de fogo em anos mais secos, fenômeno que ocorre principalmente pela intensificação do déficit hídrico na vegetação. Embora tenha sido observada uma influência entre baixa precipitação anual e área queimada, ressalta-se que essa relação não é determinante, havendo outros aspectos a serem considerados, como as fontes de ignição, o vento e a temperatura (HOFFMANN; ORTHEN; VARGAS DO NASCIMENTO, 2003; PEREIRA JÚNIOR et al., 2014).

**Figura 4** - A: Distribuição anual da área queimada diferenciada por estação; B: Porcentagem de área queimada em cada estação. A estação chuvosa foi identificada para cada ano climatológico, mas é representado por totais de área queimada no ano calendário. As estações chuvosas são geralmente divididas se considerado o ano calendário, mas foram apilhadas juntos para uma melhor visualização.



Fonte: Autor

É possível observar um padrão que poderia explicar as grandes dimensões de área queimada de alguns anos, que envolve três anos consecutivos. Primeiramente, todas as estações chuvosas com precipitações acima ou próxima da média foram seguidas de uma estação seca com pouca área queimada. Mas quando depois dessa EC continuava uma EC com baixa precipitação, a ES imediata apresentou grandes extensões de área queimada. É provável que isto tenha ocorrido em 2012, com o combustível queimado nesse ano provavelmente gerado na EC 2010-2011, que teve precipitação de 1239 mm, maior que a média anual (~ 1.146 mm).

Alguns fatores podem ter contribuído para a grande extensão de 2012. Além de não ter havido grandes extensões de área queimada entre 2008 e 2011, as ECs de 2007-2008, 2008-2009 e 2010-2011 apresentaram boa precipitação, favorecendo o acúmulo de biomassa. A EC 2011-2012 foi especialmente seca e com baixa produção biomassa, mas já houvera acúmulo dos anos anteriores. Pouca precipitação, aliada à longa ES (253 dias), favoreceu que todo esse combustível acumulado ficasse mais seco. Isso o deixa mais propenso à queima (DE L. DANTAS; BATALHA; PAUSAS, 2013) .

Um padrão similar pode ser observado entre os anos 2013 e 2015. Apesar de quando analisado em conjunto, o período entre 2012 a 2016 seja considerado de seca, a estação chuvosa 2013-2014 apresentou precipitação próxima à média (1.179 mm). Assim, a biomassa produzida foi presumivelmente seca na EC 2014-2015, que foi a mais curta do período estudado, com apenas 85 dias, menor que a média anual (~143 dias, desvio padrão:  $\pm 27$  dias).

É possível notar uma tendência de aumento na extensão de área queima nos últimos anos, a magnitude foi muito maior na segunda metade do período estudado. Isto pode dever-se ao fato de que desde 2012 até 2016 o estado maranhão sofreu uma seca de longo prazo, considerada uma das mais severas. Alguns autores explicam sua relação com eventos de La Niña (2011-2012) e El Niño (2015) ENSO (NOBRE; MARENGO, 2017; SANO et al., 2019), que também foram descritos como impulsores do fogo no Cerrado e na Amazônia (ALENCAR et al., 2015; ALENCAR; NEPSTAD; DEL CARMEN VERA DIAZ, 2006; JIMENEZ; TAKAHASHI, 2019).

As secas podem acarretar mudança nos padrões de ocorrência de fogo e já foi demonstrando seu efeito sobre a dinâmica do fogo no e Cerrado do Maranhão (SILVA JUNIOR et al., 2018). Esse fenômeno natural é complexo e provoca graves consequências ambientais, sociais e econômicas (JI e PETERS, 2003), que afeta a

disponibilidade hídrica, a morte de árvores e consequente diminuição de absorção de carbono nos ecossistemas (BRIENEN et al., 2015), e principalmente o aumento da vulnerabilidade da vegetação à ocorrência de queimadas (ALVARADO et al., 2017a; DWOMOH et al., 2019; MORGAN et al., 2019).

### 4.3 Distribuição espacial e sazonal da área queimada

A região central não sofreu grandes fogos, sendo a única parte que não queimou nenhuma vez. Isso pode ser explicado porque as partes centrais ficam mais protegidas de agentes de ignição externos, as bordas são mais suscetíveis à ocorrência de incêndios. Um padrão já observado por Alvarado *et al.*, (2017). Embora haja uma maior recorrência próximo às bordas, muitas cicatrizes foram detectadas completamente dentro dos limites, sugerindo que existem atividades que conduzem as ignições internamente aos seus limites. As queimadas para preparação das roças de coivara podem ser uma boa explicação, pois é uma das práticas mais comuns na região (VARGA, 2008) e que pode ser uma fonte de ignição (PAUSAS; KEELEY, 2009).

É fato que o uso tradicional do fogo por comunidades indígenas pode ser bastante diverso. Regimes específicos de fogo eram usados pelas populações indígenas com cuidado e precisão, e para necessidades específicas, como por exemplo, estimular a frutificação de determinadas espécies (KLEIN, 2000). Posey (1987) e Myers já demonstraram que muitas populações indígenas do Cerrado mantêm um cuidado extremo na manipulação do fogo. Um exemplo é a forma de preparação das roças tradicionais dos *Kayapó*, que são feitas respeitando um zoneamento espacial e temporal, que favorece o controle da área queimada e da intensidade do fogo (LEONEL, 2000).

As práticas de queima para a preparação dos cultivos foram transmitidas pelos indígenas para os camponeses depois da colonização europeia, mas o conhecimento foi parcialmente perdido (PIVELLO, 2011). Em relação aos indígenas residentes na área, tanto os Canela quanto os Guajajara são grupos bem integrados ao modo de vida não-tradicional. Seu histórico de contato e a incorporação tradições regionais são documentadas por Melatti (2003), Oliveira (2002) e Socioambiental (2019c) e apontam para a perda de conhecimentos tradicionais e a adoção de práticas “modernas”. O exemplo mais evidente e provavelmente mais relacionado ao assunto é a substituição

das roças tradicionais pelo modelo regional, que aconteceu provavelmente ainda no século XIX para ambos os grupos.

Seria pretencioso discorrer a fundo sobre a uso tradicional do fogo nessas comunidades sem uma interação humana e abordagem metodológica de cunho antropológico. Por isso tratamos apenas das roças de modelo regional, incorporadas por esses grupos há mais de um século. No modelo regional, áreas de vegetação são cortadas no final da estação chuvosa e queimadas no meio da estação seca, prática conhecida como corte e queima.

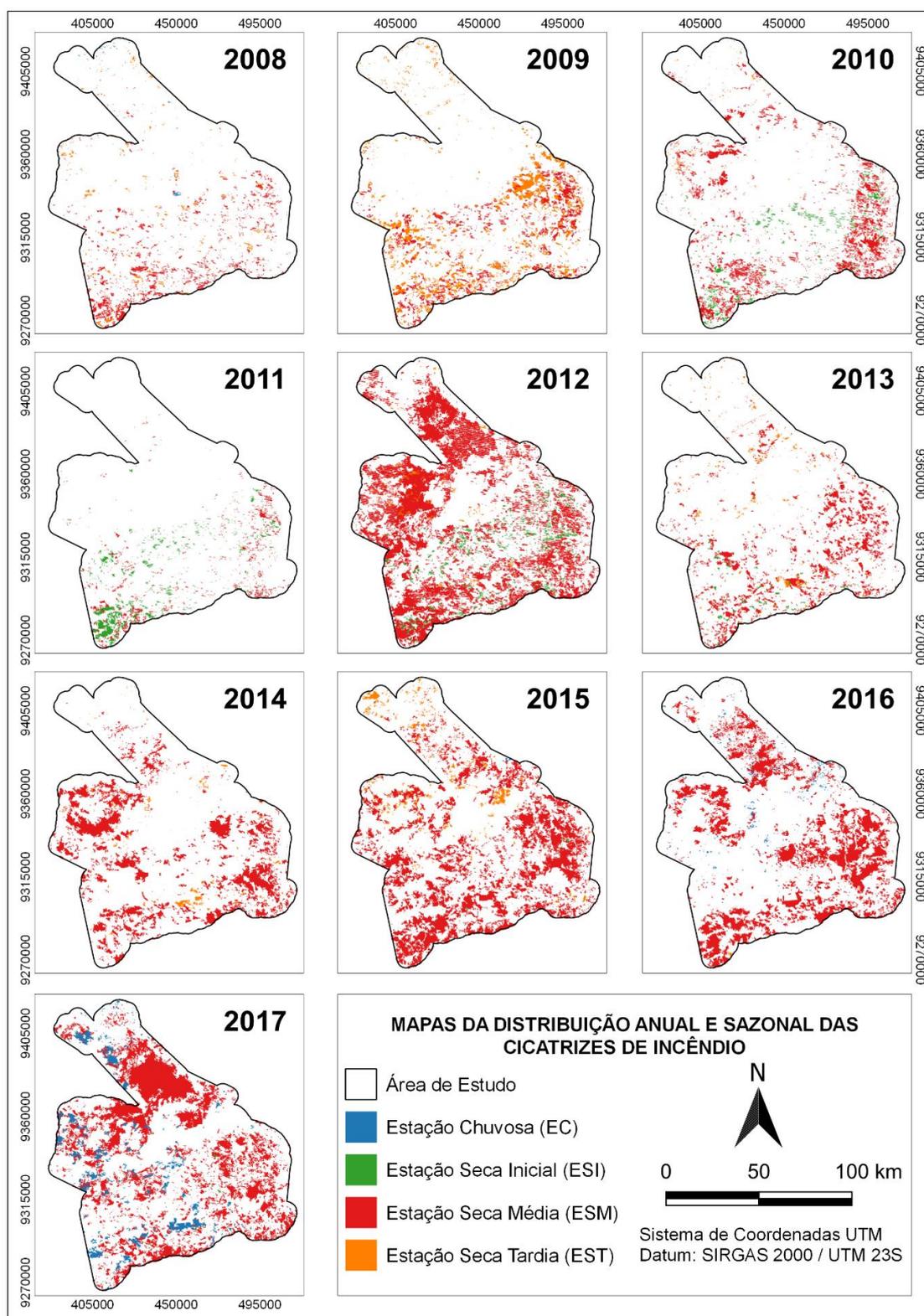
Embora essas roças sejam destinadas à subsistência, portanto, bem pequenas (geralmente menores que 1 ha), a prática de corte e queima pode gerar incêndios descontrolados, especialmente se os aceiros não forem feitos da forma adequada. Quando praticada, dependendo da disponibilidade de combustível, a umidade do combustível e o tempo, o fogo se espalhe causando incêndios de grandes dimensões e dificilmente controláveis (PEREIRA JÚNIOR et al., 2014).

Outra grande provável fonte de ignição são os incêndios criminosos ligados a atividade madeireira. A região é bastante conhecida pela ocorrência de conflitos entre indígenas e madeireiros, que invadem as terras e colocam fogo na vegetação. O fogo queima a biomassa da vegetação arbustiva e rasteira, abrindo caminho e deixando apenas as árvores de grande porte (O'DWYER, 2016). Assim, o fogo na região pode estar intimamente ligado à atividade ilegal madeireira. Esses conflitos (entre madeireiros e indígenas) têm se intensificado e ganhado notoriedade pela gravidade da situação, com assassinatos de lideranças indígenas que lutam contra a invasão das terras (SOCIOAMBIENTAL, 2019c).

O alto índice de desmatamentos que circundam e até invadem as TIs, também pode aumentar a incidência de queimadas na região. São muitas fazendas, especialmente para criação de gado, estão situadas nos arredores ou mesmo invadem as TIs do Maranhão (VARGA, 2008). É comum o uso do fogo para renovação de pastagem, o que pode aumentar as chances de ignição (GARRETT et al., 2018). A caça ilegal nas TIs é outro problema recorrente (O'DWYER, 2016), que pode influenciar o regime de fogo na área. Esses elementos demonstram conflitos fundiários e a invasão de territórios tradicionalmente ocupados podem influenciar no regime de fogo (PAUSAS; KEELEY, 2009). Algo particularmente importante na área desse estudo, pois boa parte do território ainda não é completamente regularizada, alguns processos se arrastam por anos, o que favorece a grilagem, a invasão, a

atividade madeireira ilegal. Os mapas anuais de distribuição espacial dos fogos classificados por estação podem ser vistos na **Figura 5**.

**Figura 5** - Mapas da distribuição anual e sazonal das cicatrizes de incêndio desde 2008 até 2017 nas TIs e entorno. As áreas em branco representam setores não queimados durante cada ano.



Fonte: Autor

Estes mapas permitem uma análise visual do tamanho das cicatrizes, sua distribuição espacial ao longo da área, e especialmente os padrões sazonais de ocorrência. Desta forma, pode-se visualizar que as maiores cicatrizes ocorreram sempre durante a ESM, como a de grande extensão em 2012 na região da TI Bacurizinho e a de 2017, que começou na TI Cana Brava e se estendeu até a Bacurizinho. Essas são as maiores cicatrizes no período estudado, com 50.795 e 67.977 hectares, respectivamente.

A maior quantidade de área queimada ocorreu durante a ESM para cada ano em particular e em geral (~2.000 fogos e 2.211.757 ha). A única exceção é o ano de 2009, onde a maior área queimada foi durante a EST, que teve 103.664 ha, a ESM ficou com 95.359 ha. Muito provavelmente isso se deu pela curta duração da ESM de 2009, a mais curta entre os anos estudados (71 dias). Já a EST foi umas das mais longas, 108 dias. Mesmo com 37 dias a mais, a quantidade de área queimada foi muito próxima, o que evidencia a ESM como período mais crítico do ano.

Sozinha, a ESM apresentou 85% da área queimada total, algo esperado, pois o período mais seco do ano favorece a ocorrência de ignições, um padrão já descrito para o Cerrado (ALVES; PÉREZ-CABELLO, 2017) e que pode ser devido ao baixo conteúdo de umidade na biomassa acumulada. A ESM apresentou a duração mais prolongada (~93 dias). Mesmo concentrando a maior parte da área queimada e tendo a maior duração das estações secas, não correlação significativa entre a duração da ESM e a área queimada anual ( $p = 0,595$ ,  $R^2 = 0,030$ ). Além disso, o ano com maior ESM (2008) apresentou pouca área queimada.

ESI e EST apresentaram durações similares, regulares e relativamente próximas da ESM, apenas dois anos não apresentaram todas as estações secas: 2014 não teve ESI; 2017 não teve EST. Diferente do observado em áreas de Caatinga no Piauí, que apresentaram ESI e EST menos estáveis (ARGIBAY; SPARACINO; ESPINDOLA, 2020).

Durante a ESI quase não houve cicatrizes de incêndio, o total acumulado para a estação é de 110.519 ha, cerca de 4% da área queimada no período. Mesmo curtos, os níveis atenuados de precipitação parecem ser suficientes para manter a biomassa úmida ou não há tempo hábil para a biomassa secar e ficar propensa à queima, como observado por Hoffmann et al. (2012) para áreas de floresta. A ausência de eventos de ignição associados à prática de corte e queima também pode ser um fator

preponderante, já que se encontra na etapa onde a vegetação verde é cortada para se secar durante o resto da ES.

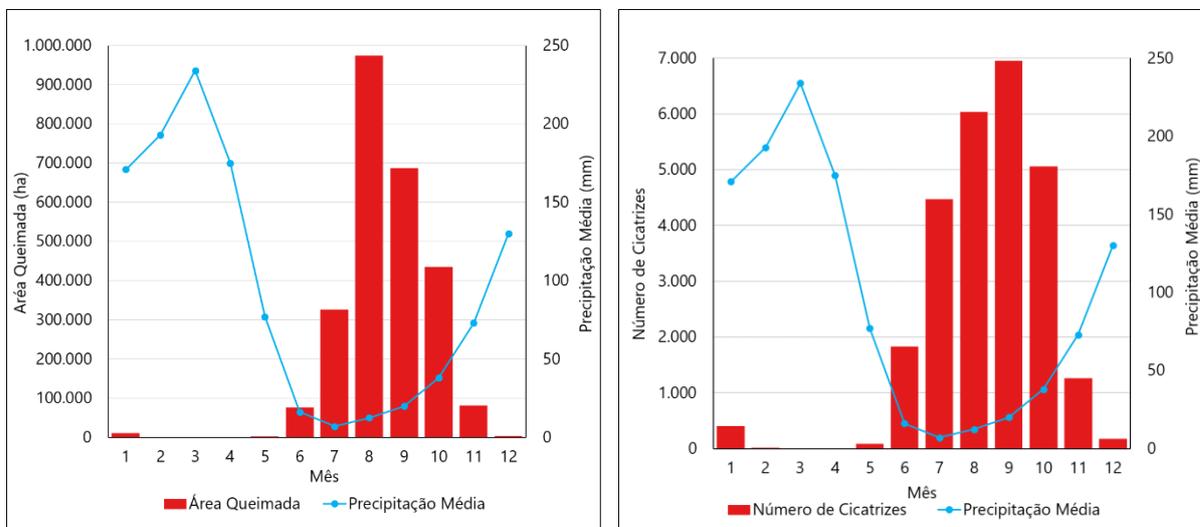
A EST foi a segunda mais queimada depois da ESM (~313 cicatrizes, 207.316 ha). Comparando os dois estágios de transição entre o período mais seco, é razoável que a EST tenha se apresentado mais propensa ao fogo, pois a seca acumulada durante a estação prévia não pode ser contrabalanceada pelo pequeno aumento na precipitação.

A EC apresentou um total de 69.801 ha queimados, com a maioria das cicatrizes pequenas e quase toda essa área no ano de 2017 (55.884 ha), que foi um ano sem EST. Desta forma, a EC resultou ser só um pouco menos propensa ao fogo do que a ESI (a porcentagem da área de estudo queimada para cada estação foi: 3% e 4 %, respectivamente). Ressalta-se que a maioria dos fogos detectados na EC ocorreram no começo desta estação durante os meses de novembro e dezembro, quando a vegetação encontrasse ainda presumivelmente seca (situação similar à da EST). Ademais, de janeiro até maio (EC) quase não houve detecções de novas cicatrizes de fogo e só ficaram visíveis as que aconteceram o ano anterior.

A temporada de queimadas começa no mês de junho e termina em novembro, com pico máximo em agosto, maioria dos fogos ocorreu entre julho e outubro. Padrão que foi observado nas formações de Cerrado do Maranhão (SILVA JUNIOR et al., 2018). Quase não há ocorrências de área queimada nos meses de dezembro a maio, a exceção é o mês de janeiro de 2016 (11.063 ha), provavelmente causado pela seca ocorrida nesses anos (FIDELIS et al., 2018), com ECs curtas e com pouca precipitação. A variação anual é apresentada na **Figura 6**.

Agosto, setembro e outubro respondem por 81% da área queimada nos anos estudados, com 974.416, 687.510, 435.718 ha, respectivamente. O fato de agosto ter a maior porcentagem de área queimada (38%) pode ser explicado em função da subsequência a julho, o mês mais seco do ano. Isto sugere que a biomassa produzida precisa de pouco tempo para ficar o suficientemente seca e virar combustível propenso à ignição. Mesmo que a maior porcentagem de área queimada tenha sido em agosto, o maior número de cicatrizes foi observado no mês de setembro. Isso aconteceu porque as cicatrizes de setembro são em média menores que as de agosto.

**Figura 6** - Relação entre a precipitação média mensal com a área queimada mensal e a quantidade mensal de cicatrizes desde 2008 até 2017 nas TIs e entornos. Os pontos azuis representam a precipitação média mensal entre 1984 e 2018, as barras representam a soma de área queima (em A) e o número de cicatrizes (em B).



Fonte: Autor

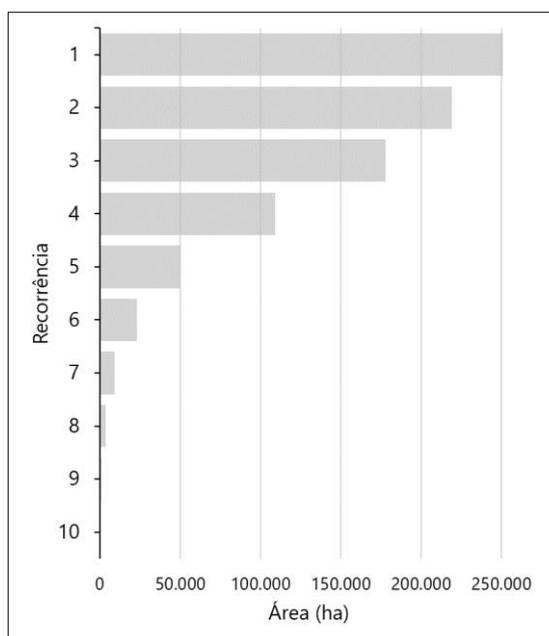
#### 4.4 Mapa de recorrência de incêndios.

Na área de estudo 842.632 ha queimaram ao menos uma vez, representando 70% da área de estudo. O gráfico com as recorrências é apresentado na **Figura 7**. O mapa de recorrência de fogo é apresentado na Figura 8, no qual diferentes cores representam o número de fogos durante os 10 anos estudados, de forma que quanto mais escuro, maior é a recorrência. O parâmetro de recorrência variou entre um e dez, o que significa que as áreas mais queimadas tiveram um fogo aproximadamente a cada dois anos, e 46,89 % da área total queimada apresentou algum nível de recorrência (592.000 ha). Resultados parecidos foram observados no Parque Nacional da Serra do Tombador (DALDEGAN et al., 2014), e outras áreas protegidas, sendo comum o Cerrado apresentar alta recorrência de incêndios (PEREIRA JÚNIOR et al., 2014)

Cerca de 6,79% da área (85.833 ha) queimou cinco vezes ou mais, algo esperado, pois a área queimada em um ano geralmente não é queimada no ano seguinte. As áreas que queimaram entre cinco vezes ou mais foram proporcionalmente muito menores das que queimaram quatro vezes ou menos. Uma interpretação preliminar destes resultados sugere que uma área que queimou, provavelmente queimará novamente com o passar dos anos.

Esses resultados, aliados aos padrões anuais observados, reforçam as características marcantes do Cerrado, que enfrenta ciclos de queima intercalados entre um, dois ou três anos, mas as áreas que queimam costumam ser as mesmas, geralmente associadas às fisionomias campestres e savânicas, como os resultados observados por Franco et al., (2014), Schmidt e Eloy, (2020).

**Figura 7** - Números totais da recorrência de fogo na área de estudo.

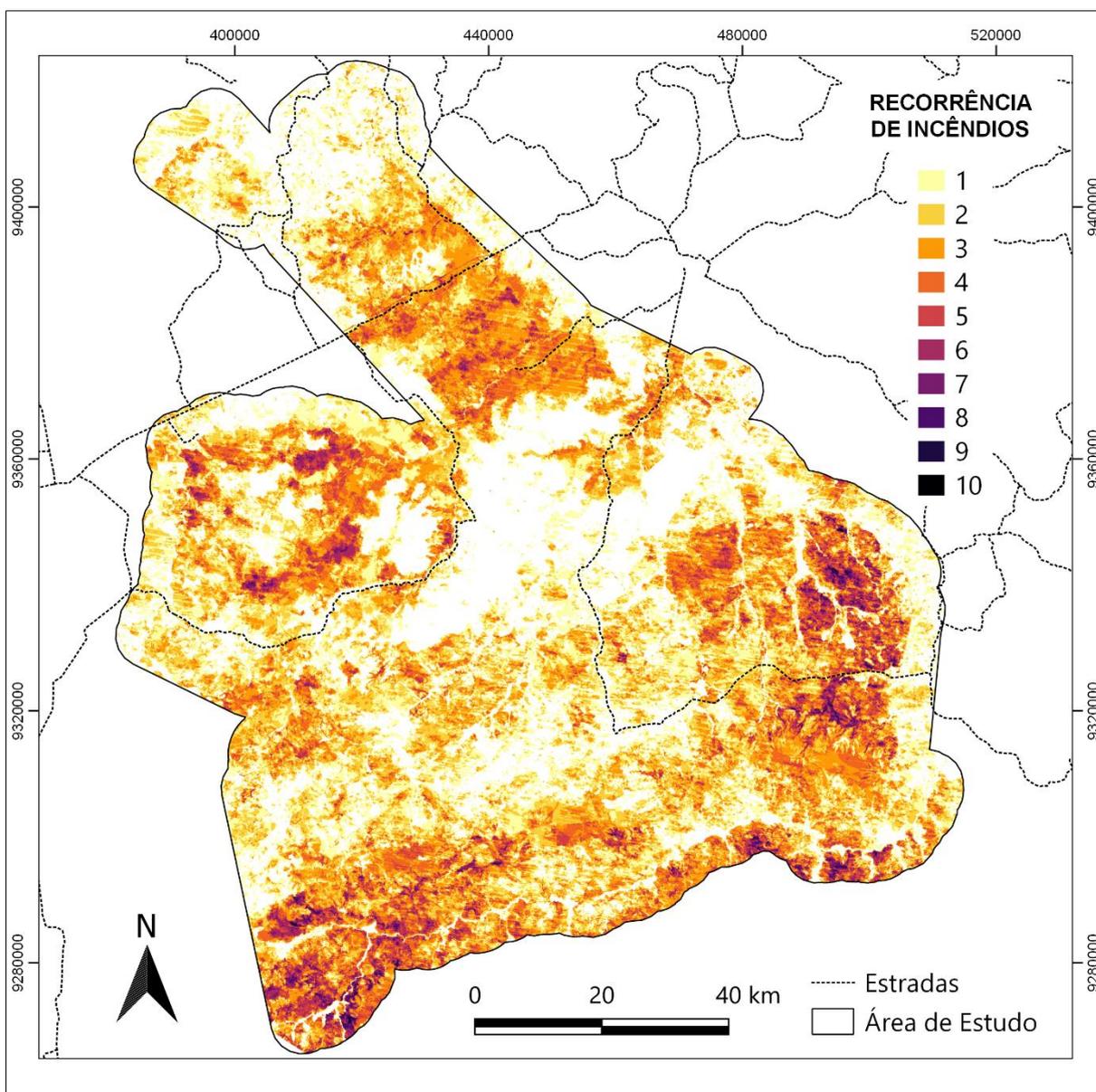


**Fonte:** Autor

O mapeamento de todas as cicatrizes juntas permite a descrição de padrões gerais da ocorrência/recorrência de fogo e sua associação com os diferentes parâmetros espaciais e é tido como bom método para identificar área de risco (Lemes et al., 2014). Por exemplo, é possível identificar regiões de alta recorrência no centro da TI Bacurizinho, alguns desses fogos receberam grandes repercussão midiática, sendo que em 2018 essa foi a TI com o maior número de focos de incêndio no Brasil inteiro, conforme já mencionado.

A região da TI Cana Brava apresenta áreas de grande recorrência, especialmente nos arredores da BR-222, que apresenta grande fluxo de veículos. Essa relação estradas e recorrência já foi observada por Alvarado et al. (2017); Argibay, Sparacino e Espindola, (2020) e Fonseca et al., (2019).

**Figura 8** - Mapa da recorrência de fogo desde 2008 até 2017 nas TIs e entorno. O gradiente de cores representa o número de vezes que a mesma área foi queimada. As áreas brancas não queimaram durante o período.



**Fonte:** Autor

Outras áreas com recorrência considerável são as bordas nordeste da TI Kanela e Sudoeste da TI Porquinhos dos Canela-Apanyekrá. Uma explicação possível é que as bordas de territórios indígenas e parques ambientais são mais suscetíveis a eventos de ignição por serem regiões de fácil acesso e fronteiriças com terras privadas, como observado por (ALVARADO et al., 2017)

É preciso salientar que a recorrência de incêndios é uma característica natural do Cerrado, tendo sido observado em diferentes recortes agrários do Cerrado, como TIs (ALVARADO et al., 2017), parques nacionais (DALDEGAN et al., 2014) e terras

privadas (HOFFMANN et al., 2012). No Cerrado Maranhense já foi demonstrado que as áreas de fisionomia campreste apresentam maior recorrência quando comparadas às áreas florestais (SILVA JUNIOR et al., 2018).

Essa recorrência também tem relação com as características da vegetação do Cerrado, que apresenta diferentes níveis de adaptação ao fogo. Nessas áreas, existem várias espécies vegetais que apresentam adaptações ao fogo, além da necessidade deste para a reprodução, como a quebra da dormência de suas sementes, por exemplo (FRANCO et al., 2014; KLINK; MACHADO, 2005; MISTRY et al., 2005; PIVELLO, 2011; RIBEIRO; WALTER, 2008; SCHMIDT; ELOY, 2020; STRASSBURG et al., 2017).

Embora a vegetação seja adaptada ao fogo, e o fenômeno ocorra de forma natural neste Bioma. Os resultados sugerem que a maioria das ignições tem origem antrópica, pois a maior parte da área queimada ocorreu na estação seca média, período mais seco, sem a ocorrência de tempestades. As ignições naturais ocorrem especialmente entre o final da estação seca e início da estação chuvosa, em decorrência de raios (PIVELLO, 2011; RIBEIRO; WALTER, 2008).

Outro fator importante a ser considerado é que incêndios naturais em grande escala são bastante raros em vegetação florestal sensível ao fogo, onde não há camada contínua de grama (HOFFMANN et al., 2009). Essas plantas não evoluíram com o fogo e apresentam alta mortalidade quando atingidas por incêndios antropogênicos cada vez mais frequentes.

Durante os últimos 50 anos, os regimes de incêndios na região foram particularmente intensificados: os incêndios tornaram-se mais frequentes e mais concentrados no final da estação seca (agosto a outubro) (SCHMIDT; ELOY, 2020). Além disso, grandes incêndios florestais se espalham por vegetação resistente e sensível ao fogo e causam altos efeitos ecológicos negativos (FIDELIS et al., 2018; PILON et al., 2018; STANAWAY et al., 2018).

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Foi apresentado um banco de dados de cicatrizes de área queimada para as TIs do Cerrado maranhense. Os padrões que foram encontrados permitem o entendimento dos regimes de fogo e da relação entre as dimensões da ocorrência do fogo e o clima. Apresentou-se os padrões anuais e sazonais do fogo como também sua dinâmica de recorrência e discutiu-se as diferentes interações entre precipitação, produtividade, umidade da biomassa, proximidade a estradas, entre outros. Além disso, também foi abordado a possível relação entre o fogo e o problemáticas socioambientais, especialmente no que concerne à regularização fundiária nas TIs e nos riscos aos as populações tradicionais estão expostas.

Explanou-se a importância do monitoramento dos regimes de fogo por meio da integração de variáveis climáticas e de sensoriamento remoto em uma Cerrado. A integração das imagens de satélite com dados meteorológicos terrestres permitiu uma abordagem de uma área importante para a conservação do Cerrado, com resolução espacial fina e em escala de paisagem. A descrição de regimes de fogo pode ser integrada a estudos ecológicos entre a interação do fogo com a vegetação, suas consequências para a biodiversidade e funcionamento do ecossistema.

A disponibilidade das séries temporais de *Landsat* foi utilizada para cobrir um estudo de 10 anos e sua resolução de 30 m permitiu a identificação de pequenas áreas queimadas. A utilização dos dados de precipitação diária das estações meteorológicas locais foi uma aproximação efetiva para descrever a heterogeneidade climática interanual e sazonal. Os estudos relacionando o fogo com dados climáticos são de grande interesse, já que o clima é um dos principais determinantes da atividade do fogo. A identificação as regiões com alta recorrência de fogo nestas TIs e entorno poderão contribuir para a implementação de políticas preventivas e ferramentas de manejo. Resguardando a integridade do local e a saúde dos seus habitantes.

## REFERÊNCIAS

- ALENCAR, A. *et al.* Mapping three decades of changes in the Brazilian savanna native vegetation using Landsat data processed in the Google Earth Engine platform. **Remote Sensing**, v. 12, n. 6, p. 1–23, 2020.
- ALENCAR, A. A. *et al.* Landscape fragmentation, severe drought, and the new Amazon forest fire regime. **Ecological Applications**, v. 25, n. 6, p. 1493–1505, 2015.
- ALENCAR, A.; NEPSTAD, D.; DIAZ, M. C. V. Forest understory fire in the Brazilian Amazon in ENSO and non-ENSO years: Area burned and committed carbon emissions. **Earth Interactions**, v. 10, n. 6, 2006.
- ALVARADO, S. T. *et al.* Drivers of fire occurrence in a mountainous Brazilian Cerrado savanna: Tracking long-term fire regimes using remote sensing. **Ecological Indicators**, v. 78, p. 270–281, 2017.
- ALVES, D. B.; PÉREZ-CABELLO, F. Multiple remote sensing data sources to assess spatio-temporal patterns of fire incidence over Campos Amazônicos Savanna Vegetation Enclave (Brazilian Amazon). **Science of the Total Environment**, v. 601–602, p. 142–158, 2017.
- ARAÚJO, M. L. S. DE *et al.* Spatiotemporal dynamics of soybean crop in the Matopiba region, Brazil (1990–2015). **Land Use Policy**, v. 80, p. 57–67, 2019.
- ARGIBAY, D. S.; SPARACINO, J.; ESPINDOLA, G. M. A long-term assessment of fire regimes in a Brazilian ecotone between seasonally dry tropical forests and savannah. **Ecological Indicators**, v. 113, 2020.
- ASSAD, E. D. **Chuva nos cerrados: análise e espacialização**. Planaltina: EMBRAPA-CPAC, 1994.
- AZANHA, G. A forma Timbira: estrutura e resistência. **São Paulo**, 1984.
- BALCH, J. R. K. *et al.* Negative fire feedback in a transitional forest of southeastern Amazonia. **Global Change Biology**, v. 14, n. 10, p. 2276–2287, 2008.
- BARBOSA, E. G. *et al.* A importância da consideração de espécies invasoras no manejo integrado do fogo. **Biodiversidade Brasileira**, v. 6, n. 2, p. 27–40, 2016.
- BASTARRIKA, A. *et al.* **Mapping Burned Areas in Latin America from Landsat-8 with Google Earth Engine** Preprints.org, , 2018. Disponível em: <<http://euopepmc.org/abstract/PPR/PPR98035>>
- BASTARRIKA, A.; CHUVIECO, E.; MARTÍN, M. P. Mapping burned areas from Landsat TM/ETM+ data with a two-phase algorithm: Balancing omission and

commission errors. **Remote sensing of environment.**, v. 115, n. 4, p. 1003–1012, 2011.

BOND, W. J.; PARR, C. L. Beyond the forest edge: Ecology, diversity and conservation of the grassy biomes. **Biological Conservation**, v. 143, n. 10, p. 2395–2404, 2010.

CARNEIRO FILHO, A.; COSTA, K. A expansão da soja no Cerrado. **Caminhos para a ocupação territorial, uso do solo e produção sustentável. São Paulo, Agroicone**, p. p1-30, 2016.

CHEN, X. *et al.* Detecting post-fire burn severity and vegetation recovery using multitemporal remote sensing spectral indices and field-collected composite burn index data in a ponderosa pine forest. **International Journal of Remote Sensing**, v. 32, n. 23, p. 7905–7927, 2011.

CHEN, Y. *et al.* Long-term trends and interannual variability of forest, savanna and agricultural fires in South America. **Carbon Management**, v. 4, n. 6, p. 617–638, 2013.

COELHO, E. M. B.; GIRALDIN, O.; FISHER, W. Leituras sobre os Timbira. **Revista Pós Ciências Sociais**, v. 15, n. 29, p. 11–34, 2018.

COSTA-MILANEZ, C. B. *et al.* Effect of fire on ant assemblages in Brazilian Cerrado in areas containing vereda wetlands. **Sociobiology**, v. 62, n. 4, p. 494–505, 2015.

COUTINHO, L. M. O Bioma do Cerrado. In: **Eugen Warming e o Cerrado brasileiro um século depois.** [s.l.] UNESP, 2002. p. 77–91.

DALDEGAN, G. *et al.* Spatial Patterns of Fire Recurrence Using Remote Sensing and GIS in the Brazilian Savanna: Serra do Tombador Nature Reserve, Brazil. **Remote Sensing**, v. 6, n. 10, p. 9873–9894, 16 out. 2014.

DANTAS, V. L.; PAUSAS, J. G. Megafauna biogeography explains plant functional trait variability in the tropics. **Global Ecology and Biogeography**, v. 29, n. 8, p. 1288–1298, 2020.

DARBYSHIRE, E. *et al.* The vertical distribution of biomass burning pollution over tropical South America from aircraft in situ measurements during SAMBBA. **Atmospheric Chemistry and Physics**, v. 19, n. 9, p. 5771–5790, 2019.

DE L. DANTAS, V.; BATALHA, M. A.; PAUSAS, J. G. Fire drives functional thresholds on the savanna-forest transition. **Ecology**, v. 94, n. 11, p. 2454–2463, 2013.

DIONIZIO, E. A. *et al.* Influence of climate variability, fire and phosphorus limitation on vegetation structure and dynamics of the Amazon–Cerrado border. **Biogeosciences**, v. 15, n. 3, p. 919–936, 2018.

DURIGAN, G. Zero-fire: Not possible nor desirable in the Cerrado of Brazil. **Flora: Morphology, Distribution, Functional Ecology of Plants**, v. 268, p. 151612, 2020.

DWOMOH, F. K. *et al.* Forest degradation promotes fire during drought in moist tropical forests of Ghana. **Forest Ecology and Management**, v. 440, p. 158–168, 2019.

ELOY, L. *et al.* Seasonal fire management by traditional cattle ranchers prevents the spread of wildfire in the Brazilian Cerrado. **Ambio**, v. 48, n. 8, p. 890–899, 2019.

FAVA, F.; COLOMBO, R. Remote Sensing-Based Assessment of the 2005–2011 Bamboo reproductive event in the Arakan Mountain range and its relation with wildfires. **Remote Sensing**, v. 9, n. 1, p. 85, 2017.

FIDELIS, A. *et al.* The year 2017: Megafires and management in the Cerrado. **Fire**, v. 1, n. 3, p. 1–11, 2018.

FONSECA, M. G. *et al.* Effects of climate and land-use change scenarios on fire probability during the 21st century in the Brazilian Amazon. **Global Change Biology**, v. 25, n. 9, p. 2931–2946, 2019.

FRANCO, A. C. *et al.* Cerrado vegetation and global change: the role of functional types, resource availability and disturbance in regulating plant community responses to rising CO<sub>2</sub> levels and climate warming. **Theoretical and Experimental Plant Physiology**, v. 26, n. 1, p. 19–38, 2014.

FUNAI. **TIs**. Disponível em: <<http://www.funai.gov.br/index.php/indios-no-brasil/terras-indigenas>>. Acesso em: 15 jun. 2019.

GARRETT, R. D. *et al.* Intensification in agriculture-forest frontiers: Land use responses to development and conservation policies in Brazil. **Global Environmental Change**, v. 53, p. 233–243, 2018.

GAWRYSZEWSKI, F. M.; SATO, M. N.; MIRANDA, H. S. Frequent fires alter tree architecture and impair reproduction of a common fire-tolerant savanna tree. **Plant Biology**, v. 22, n. 1, p. 106–112, 2020.

GOMES, L. *et al.* Effects and behaviour of experimental fires in grasslands, savannas, and forests of the Brazilian Cerrado. **Forest Ecology and Management**, v. 458, n. November 2019, 2020.

GORELICK, N. *et al.* Google Earth Engine: Planetary-scale geospatial analysis for everyone. **Remote sensing of Environment**, v. 202, p. 18–27, 2017.

GRACE, J. *et al.* Productivity and carbon fluxes of tropical savannas. **Journal of Biogeography**, v. 33, n. 3, p. 387–400, 2006.

HOFFMANN, W. A. *et al.* Tree topkill, not mortality, governs the dynamics of savanna-forest boundaries under frequent fire in central Brazil. **Ecology**, v. 90, n. 5,

p. 1326–1337, 2009.

HOFFMANN, W. A. *et al.* Fuels or microclimate? Understanding the drivers of fire feedbacks at savanna-forest boundaries. **Austral Ecology**, v. 37, n. 6, p. 634–643, 2012.

HOFFMANN, W. A.; ORTHEN, B.; VARGAS DO NASCIMENTO, P. K. Comparative fire ecology of tropical savanna and forest trees. **Functional Ecology**, v. 17, n. 6, p. 720–726, 2003.

IBGE. **Mapa de Biomas e de Vegetação**. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/apps/biomas/>>.

INPE. **Banco de Dados de Queimadas**. Disponível em: <<http://www.inpe.br/queimadas/bdqueimadas>>. Acesso em: 26 maio. 2020.

JIMENEZ, Juan Carlos; TAKAHASHI, Ken. Tropical Climate Variability and Change: Impacts in the Amazon. **Frontiers in Earth Science**, v. 7, p. 215, 2019.

KAUFFMAN, J. B.; CUMMINGS, D. L.; WARD, D. E. Relationships of Fire, Biomass and Nutrient Dynamics along a Vegetation Gradient in the Brazilian Cerrado. **The Journal of Ecology**, v. 82, n. 3, p. 519, 1994.

KLEIN, A. L. **Eugen Warming e o Cerrado brasileiro: um século depois**. [s.l.] Unesp, 2000.

KLINK, C. A. *et al.* **The role of vegetation on the dynamics of water and fire in the Cerrado ecosystems: Implications for management and conservation** *Plants* MDPI AG, , 1 dez. 2020. Disponível em: <[www.mdpi.com/journal/plants](http://www.mdpi.com/journal/plants)>. Acesso em: 6 jan. 2021

KLINK, Carlos A.; MACHADO, Ricardo B. Conservation of the Brazilian cerrado. **Conservation biology**, v. 19, n. 3, p. 707-713, 2005.

LEONEL, M. O uso do fogo: o manejo indígena e a piromania da monocultura. **Estudos Avançados**, v. 14, n. 40, p. 231–250, 2000.

LIEBMANN, B. *et al.* Onset and end of the rainy season in South America in observations and the ECHAM 4.5 atmospheric general circulation model. **Journal of Climate**, v. 20, n. 10, p. 2037–2050, 2007.

MEDDENS, A. J. H.; KOLDEN, C. A.; LUTZ, J. A. Detecting unburned areas within wildfire perimeters using Landsat and ancillary data across the northwestern United States. **Remote Sensing of Environment**, v. 186, p. 275–285, 2016.

MEDEIROS, M. B. DE; MIRANDA, H. S. Mortalidade pós-fogo em espécies lenhosas de campo sujo submetido a três queimadas prescritas anuais. **Acta Botanica Brasilica**, v. 19, n. 3, p. 493–500, 2005.

MEDEIROS, M. B.; MIRANDA, H. S. Post-fire resprouting and mortality in Cerrado woody plant species over a three-year period. **Edinburgh Journal of Botany**, v. 65, n. 1, p. 53–68, 2008.

MELATTI, J. C. O índio na história: o povo Tenetehara em busca da liberdade. **Revista de Antropologia**, v. 46, n. 1, p. 259–269, 2003.

MENG, R.; ZHAO, F. Remote Sensing of Fire Effects. In: **Remote Sensing of Hydrometeorological Hazards** (Eds GP Petropoulos, T Islam). [s.l.] CRC Press, 2019. p. 261–283.

MIRANDA, H. S.; NETO, W. N.; NEVES, B. M. C. Caracterização das queimadas de Cerrado. **Efeitos do regime de fogo sobre a estrutura de comunidades do Cerrado: resultados do Projeto Fogo'**.(Coord. HS Miranda) pp, p. 23–33, 2010.

MISTRY, J. *et al.* Indigenous fire management in the Cerrado of Brazil: The case of the Krahô of Tocantíns. **Human Ecology**, v. 33, n. 3, p. 365–386, 2005.

MISTRY, J. *et al.* New perspectives in fire management in South American savannas: The importance of intercultural governance. **Ambio**, v. 48, n. 2, p. 172–179, 2019.

MONTIBELLER, B. *et al.* Increasing fragmentation of forest cover in Brazil's Legal Amazon from 2001 to 2017. **Scientific Reports**, v. 10, n. 1, 2020.

MORGAN, W. T. *et al.* Non-deforestation drivers of fires are increasingly important sources of aerosol and carbon dioxide emissions across Amazonia. **Scientific Reports**, v. 9, n. 1, p. 1–15, 2019.

MORTON, D. C. *et al.* Understorey fire frequency and the fate of burned forests in southern Amazonia. **Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences**, v. 368, n. 1619, 2013.

MUNHOZ, C. B. R.; FELFILI, J. M. Phenology of the herbaceous layer in a campo sujo community in the Fazenda Água Limpa, Federal District, Brazil. **Acta Botanica Brasilica**, v. 19, n. 4, p. 979–988, 2005.

MYERS, N. *et al.* Biodiversity hotspots for conservation priorities. **Nature**, v. 403, n. 6772, p. 853–858, 2000.

NASCIMENTO, L. A. S. WYTY-CATE: associativismo, representação e faccionalismo político entre os povos Timbira. **Revista Pós Ciências Sociais**, v. 2, n. 4, 2010.

NEPSTAD, D. C. *et al.* Large-scale impoverishment of amazonian forests by logging and fire. **Nature**, v. 398, n. 6727, p. 505–508, 1999.

NOBRE, C. A.; MARENGO, J. A. **Mudanças Climáticas em Rede Um olhar Interdisciplinar: Contribuições do instituto nacional de ciência e tecnologia para mudanças climáticas.** [s.l: s.n.].

O'DWYER, E. C. Nas fronteiras do Estado-nação: conflitos socioambientais e incêndios florestais nas TIs dos Awá-Guajá no Maranhão. **Revista Pós Ciências Sociais**, v. 13, n. 26, p. 31, 2016.

OLIVEIRA, A. L. R. DE. Ramkokamekra-Canela: Dominação e Resistência de um povo timbira no centroeste maranhense. 2002.

OLIVEIRA, L. N. *et al.* USE OF MULTISPECTRAL IMAGING IN THE EVALUATION OF BURNINGS AND FOREST FIRES IN KRAHÔLANDIA INDIGENOUS LAND (2003-2014). **Floresta**, v. 45, n. 4, p. 853–864, 2015.

PALAIOLOGOU, P. *et al.* Locating Forest Management Units Using Remote Sensing and Geostatistical Tools in North-Central Washington, USA. **Sensors**, v. 20, n. 9, p. 2454, 2020.

PALERMO, A. C.; MIRANDA, H. S. Efeito do fogo na produção de frutos de *Qualea parviflora* Mart. (Vochysiaceae) em Cerrado sensu stricto. **Revista Árvore**, v. 36, n. 4, p. 685–693, 2012.

PAUSAS, J. G.; KEELEY, J. E. A burning story: The role of fire in the history of life. **BioScience**, v. 59, n. 7, p. 593–601, 2009.

PEREIRA JÚNIOR, A. C. *et al.* Modelling Fire Frequency in a Cerrado Savanna Protected Area. **PLoS ONE**, v. 9, n. 7, p. e102380, 2014.

PILON, N. A. L. *et al.* Quantifying the short-term flowering after fire in some plant communities of a Cerrado grassland. **Plant Ecology and Diversity**, v. 11, n. 3, p. 259–266, 2018.

PIVELLO, V. R. The Use of Fire in the Cerrado and Amazonian Rainforests of Brazil: Past and Present. **Fire Ecology**, v. 7, n. 1, p. 24–39, 2011.

RAMOS-NETO, M. B.; PIVELLO, V. R. Lightning fires in a Brazilian Savanna National Park: Rethinking management strategies. **Environmental Management**, v. 26, n. 6, p. 675–684, 2000.

RIBEIRO, J. F.; WALTER, B. M. T. As principais fitofisionomias do Bioma Cerrado. In: **Cerrado: Ecologia e flora**. SANO, S. M.; ALMEIDA, S. P.; RIBEIRO, J. F. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2008.

ROSAN, T. M. *et al.* Extensive 21st-Century Woody Encroachment in South America's Savanna. **Geophysical Research Letters**, v. 46, n. 12, p. 6594–6603, 2019.

SANO, E. E. *et al.* Land cover mapping of the tropical savanna region in Brazil. **Environmental Monitoring and Assessment**, v. 166, n. 1–4, p. 113–124, 2010.

SANO, E. E. *et al.* Land use dynamics in the Brazilian Cerrado in the period from 2002 to 2013. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 54, 2019.

- SATO, M. N.; MIRANDA, H. S.; MAIA, J. M. F. O fogo e o estrato arbóreo do Cerrado: efeitos imediatos e de longo prazo. **Efeitos do regime do fogo sobre a estrutura de comunidade de Cerrado: Projeto fogo**. Brasília, DF: IBAMA, p. 77–91, 2010.
- SCHMIDT, I. B. *et al.* Experiências internacionais de manejo integrado do fogo em áreas protegidas–recomendações para implementação de manejo integrado de fogo no Cerrado. **Biodiversidade Brasileira-BioBrasil**, n. 2, p. 41–54, 2016.
- SCHMIDT, I. B. *et al.* Fire management in the Brazilian savanna: First steps and the way forward. **Journal of Applied Ecology**, v. 55, n. 5, p. 2094–2101, 2018.
- SCHMIDT, I. B.; ELOY, L. Fire regime in the Brazilian Savanna: Recent changes, policy and management. **Flora: Morphology, Distribution, Functional Ecology of Plants**, v. 268, 2020.
- SILVA, J. M. C.; BATES, J. M. Biogeographic patterns and conservation in the South American Cerrado: A tropical savanna hotspot. **BioScience**, v. 52, n. 3, p. 225–233, 2002.
- SILVA, J. F. *et al.* Spatial heterogeneity, land use and conservation in the cerrado region of Brazil. **Journal of biogeography**, v. 33, n. 3, p. 536–548, 2006.
- SILVA JUNIOR, C. H. L. *et al.* Dinâmica das Queimadas no Cerrado do Estado do Maranhão, Nordeste do Brasil. **Geography Department University of Sao Paulo**, v. 35, p. 1–14, 2018.
- SIMON, M. F. *et al.* Recent assembly of the Cerrado, a neotropical plant diversity hotspot, by in situ evolution of adaptations to fire. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America**, v. 106, n. 48, p. 20359–20364, 2009.
- SIMON, M. F.; PENNINGTON, T. Evidence for adaptation to fire regimes in the tropical savannas of the Brazilian Cerrado. **International Journal of Plant Sciences**, v. 173, n. 6, p. 711–723, 2012.
- SOCIOAMBIENTAL, I. **Canela Ramkokamekrá**. Disponível em: <[https://pib.socioambiental.org/pt/Povo:Canela\\_Ramkokamekrá](https://pib.socioambiental.org/pt/Povo:Canela_Ramkokamekrá)>. Acesso em: 10 nov. 2020a.
- SOCIOAMBIENTAL, I. **Canela Apanyekrá**. Disponível em: <[https://pib.socioambiental.org/pt/Povo:Canela\\_Apanyekrá](https://pib.socioambiental.org/pt/Povo:Canela_Apanyekrá)>. Acesso em: 5 set. 2020b.
- SOCIOAMBIENTAL, I. **Guajajara**. Disponível em: <<https://pib.socioambiental.org/pt/Povo:Guajajara>>. Acesso em: 20 maio. 2019c.
- SOUZA, C. M. *et al.* Reconstructing three decades of land use and land cover changes in Brazilian biomes with Landsat archive and Earth Engine. **Remote**

**Sensing**, v. 12, n. 17, p. 2735, 2020.

STANAWAY, J. D. *et al.* Global, regional, and national comparative risk assessment of 84 behavioural, environmental and occupational, and metabolic risks or clusters of risks for 195 countries and territories, 1990-2017: A systematic analysis for the Global Burden of Disease Stu. **The Lancet**, v. 392, n. 10159, p. 1923–1994, 2018.

STRASSBURG, B. B. N. *et al.* Moment of truth for the Cerrado hotspot. **Nature Ecology and Evolution**, v. 1, n. 4, 2017.

SUGANUMA, M. S.; DURIGAN, G. Indicators of restoration success in riparian tropical forests using multiple reference ecosystems. **Restoration Ecology**, v. 23, n. 3, p. 238–251, 2015.

TYUKAVINA, A. *et al.* Types and rates of forest disturbance in Brazilian Legal Amazon, 2000–2013. **Science Advances**, v. 3, n. 4, 2017.

UHL, C.; KAUFFMAN, J. B. Deforestation, fire susceptibility, and potential tree responses to fire in the eastern Amazon. **Ecology**, v. 71, n. 2, p. 437–449, 1990.

VAN DER WERF, G. R. *et al.* **Global fire emissions estimates during 1997-2016** Earth System Science Data Copernicus GmbH, 2017.

VARGA, I. VAN D. A insustentável leveza do estado: devastação, genocídio, doenças e miséria nas fronteiras contemporâneas da Amazônia, no Maranhão. **Acta Amazonica**, v. 38, n. 1, p. 85–100, 2008.

VEENENDAAL, E. M. *et al.* On the relationship between fire regime and vegetation structure in the tropics. **New Phytologist**, v. 218, n. 1, p. 153–166, 2018.

VERMOTE, E. *et al.* Preliminary analysis of the performance of the Landsat 8/OLI land surface reflectance product. **Remote Sensing of Environment**, v. 185, p. 46–56, 2016.

WARMING, Eugênio; FERRI, Mário G. Lagoa Santa e a vegetação de cerrados brasileiros. In: **Lagoa Santa e a vegetação de cerrados brasileiros**. 1973. p. 362-362.

WOODCOCK, C. E. *et al.* Free access to Landsat imagery. **Science**, v. 320, n. 5879, p. 1011-, 2008.